CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

Pesquisa e Aplicações

ORGANIZADORA

Rosana Rodrigues Teixeira Andrade

Editora Poisson

VOLUME 8

Rosana Rodrigues Teixeira Andrade
(Organizadora)

Ciência dos Alimentos
Pesquisa e Aplicações
Volume 8

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2025

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569

Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações - Volume 8/
Organização: Rosana Rodrigues Teixeira Andrade
Belo Horizonte - MG: Editora Poisson - 2025

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-598-4
DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Tecnologia de Alimentos 2. Alimentos 3. Nutrição
I. ANDRADE, Rosana Rodrigues Teixeira. II. Título

CDD-664.005

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Carne cultivada: uma revisão integrativa da literatura sobre biotecnologia e sustentabilidade..... 06

Thynara Ribeiro Silva, Mirela Sousa Dias, Geovanna Campos Silva, Bruna Eduarda de Oliveira Andrade, Pedro Henrique Campos Figueira, Maria Clara Rocha Viana, Isabelle Martins Bezerra, Alinne Araújo de Sousa, Gleisson Willen Cerdeira Lemos, Antônio Quaresma da Silva Júnior

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.01

Capítulo 2: Potencial funcional e aplicações alimentícias da macaúba: avanços e perspectivas na valorização de frutos nativos brasileiros e prospecção tecnológica . 18

Elienae da Silva Gomes, Alexandra Perdigão Maia de Souza, Amábile Mariano Marques, Bruno Eckert Bertuol, Elizangela Regina da Silva Martins, Flávia Teixeira Keller, Gabrieli de França Tonhão, Jessica da Silva Agostinho Bertuol, Luana Morais Antonini, Simone Maria Altoé Porto, Mayara Zagotto, Wanessa Mulek Boza da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.02

Capítulo 3: Potencial tecnológico do mel na elaboração de produtos alimentícios sustentáveis..... 30

Tais Cristina Coelho Alves Madalena, Yasmin Kaiê Zukeram, Aryane Campana Depieri, Bianca Yuki Nakata, Talita Masyama Shimano, Danilo Henrique Teodoro, Emily Vitória Rodrigues Mota, Leonardo Robles Pereira, Isabela Milani de Souza, Emilio Soitsi Zukeram Junior

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.03

Capítulo 4: Hidrólise enzimática de óleos vegetais da Amazônia para a produção sustentável de ácidos graxos..... 42

Felipe Ribeiro Carlos, Kiara Faria de Assis, Yasmynn Myllena Gonçalves, Adriano Aguiar Mendes

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.04

Capítulo 5: Impacto da fermentação espontânea em caixas de madeira na dinâmica de compostos bioativos em grãos de cacau trinitário..... 55

Biaani Beeu Martínez Valencia, Fredy Sangeado Gordillo, José Luis Solís Bonilla

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.05

Capítulo 6: Formulação de vinagre de álcool com microcápsulas de beterraba (*Beta Vulgaris* L.) 65

Érica Farias Santos, Annuska Vieira Cabral, Alan Rodrigo Santos Teles, Alysson Caetano Soares, Gabriela Sousa Silva, Jucenir dos Santos Ferreira, Tatiana Pacheco Nunes, Gabriel Francisco da Silva, Alessandra Almeida Castro Pagani

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.06

SUMÁRIO

Capítulo 7: Propriedades térmicas de produtos derivados do leite em diferentes temperaturas - uma abordagem prática no ensino da engenharia de alimentos..... 87

Érika de Castro Vasques, Marco Aurélio Reis dos Santos, César Augusto Galvão Fernandes Conde, Odilon Passos Ravedutti Durante, Arthur Daochuen Hsielkh

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.07

Capítulo 8: Capacidade antioxidante dos extratos hidroetanólicos de *Passiflora* spp. 96

Zilanir Carvalho Pereira, Josiana Moreira Mar, Edinilze Souza Coelho Oliveira, Lesliê de Azevedo Gomes, Renilto Frota Corrêa, Jaqueline de Araújo Bezerra

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.08

Capítulo 9: Potencial antioxidante de kombucha de chás (*Camellia sinensis*) e ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) 103

Jean Lucas Ribeiro de Farias, Ellen Porto Pinto, Ellen Cristina Perin

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.09

Capítulo 10: Elaboração de barra de cereais com reaproveitamento de banana (*Musa* ssp)..... 121

Julie Suzan da Silva, Heron Cesar Marques Faloppa, Dacielly Fernanda Ruiz

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.10

Capítulo 11: Kombucha de chás (*Camellia sinensis*) e ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) – uma avaliação sensorial..... 139

Jean Lucas Ribeiro de Farias, Ellen Porto Pinto, Ellen Cristina Perin

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.11

Capítulo 12: Potencial antioxidante de variedades de milho pipoca pré e pós processamento 152

Andrieli Zanon Ronsoni, Ellen Porto Pinto, Ellen Cristina Perin

DOI: 10.36229/978-65-5866-598-4.CAP.12

Autores..... 169

Capítulo 1

Carne cultivada: uma revisão integrativa da literatura sobre biotecnologia e sustentabilidade

Thynara Ribeiro Silva
Mirela Sousa Dias
Geovanna Campos Silva
Bruna Eduarda de Oliveira Andrade
Pedro Henrique Campos Figueira
Maria Clara Rocha Viana
Isabelle Martins Bezerra
Alinne Araújo de Sousa
Gleisson Willen Cerdeira Lemos
Antônio Quaresma da Silva Júnior

Resumo: A produção convencional de proteína animal enfrenta críticas crescentes devido aos seus significativos impactos ambientais, incluindo a emissão de gases de efeito estufa, o elevado consumo de recursos hídricos e o desmatamento. Neste contexto, a carne cultivada emerge como uma alternativa biotecnológica promissora. Este capítulo tem como objetivo analisar o potencial sustentável da carne cultivada com base em uma revisão integrativa da literatura, abrangendo nove artigos científicos. Os resultados indicam que a tecnologia de cultivo celular, que utiliza células-tronco para a formação de tecido muscular in vitro, apresenta vantagens ambientais substantivas, como a redução no uso da terra e água e a diminuição das emissões de poluentes quando comparada à pecuária tradicional. Conclui-se que a carne cultivada representa uma inovação estratégica para a segurança alimentar futura, embora seu desenvolvimento em escala comercial dependa da superação de desafios técnicos, econômicos e regulatórios.

Palavras-chave: carne cultivada, células-tronco, sustentabilidade, carne *in vitro*, impacto ambiental.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a ONU (2012), a população mundial em 2024 deverá ultrapassar 8 bilhões de pessoas. Projeções para 2050 sugerem um número superior a 9,5 bilhões, um crescimento de 13,16%, de 2012 a 2024, e de 34,90%, entre 2012 e 2050. Esse aumento populacional ocorrerá principalmente em países em desenvolvimento e se concentrará nas cidades. Associados a tais fenômenos, os acréscimos na renda aumentarão a demanda por recursos naturais básicos, como os alimentos (Saath; Fachinello, 2018).

O consumo de alimentos é parte essencial da vida humana e envolve muitos fatores, tais como a sua distribuição, os valores atribuídos a eles e a sua produção – sejam alimentos in natura ou processados em algum nível (Brasil, 2014). Nesse sentido, alguns alimentos, como as proteínas, estão amplamente presentes no cardápio das pessoas e fazem com que sua produção esteja sempre sendo inovada, tanto em processos quanto em tecnologia.

Entretanto, a agropecuária, que é responsável pela produção de proteína animal por meio do abate que é uma das principais fontes de consumo da população em geral, causa diversos impactos ambientais como, por exemplo, a emissão de gases do efeito estufa (Zotti & Paulino, 2009), o consumo de água e o desmatamento para criação do gado (Oliveira & Mendonça, 2022). Assim, procurando diminuir o impacto ambiental causado nesta cadeia de produção, buscam-se alternativas e estudos no processo de criação do gado que podem ser efetivos. No entanto, as opções ainda não resolveriam o problema em si. Na tentativa de um processo mais sustentável surge a ideia de produzir carne através de um processo de biopsia, multiplicação celular e estruturação do produto: a carne limpa ou carne in vitro, que pode se dar tanto em filés como em outros formatos (Id., 2023).

A produção desse novo tipo de carne cultivada in vitro apresenta-se como alternativa à alimentação tradicional oriunda do abate dos rebanhos e à produção em escala industrial, bem como, engloba aspectos relacionados às medidas de sustentabilidade e inovações. Apesar de atualmente existirem situações distintas de alguns anos atrás, como o aumento da participação feminina no mercado de trabalho, que leva à diminuição do tamanho das famílias, e o aumento da urbanização, o poder de produção de alimentos devido às inovações tecnológicas aumenta a cada dia e é cada vez mais utilizado.

Essa nova tecnologia advém do ramo de inovação da engenharia alimentar, mais especificamente da agricultura celular, e possui como base no processo de cultivo ou de sua cultura, as células precursoras ou tronco, que são retiradas do tecido animal sem necessidade de seu abate (POST, 2017). Realizada a coleta em laboratório, as células recebem o tratamento para crescimento por meio de nutrientes e hormônios até atingir níveis de comercialização (Bhat, Kumar & Fayaz, 2015).

O primeiro hambúrguer produzido com carne cultivada foi experimentado em agosto de 2013 em um evento realizado em Londres. A carne desse hambúrguer foi cultivada a partir de células-tronco musculares esqueléticas bovinas no laboratório do Dr. Mark Post na Universidade de Maastricht, na Holanda (Mattick et al., 2015). Como resultado do processo tecnológico desenvolvido, o hambúrguer de tecido muscular bovino de Post custou 200 mil euros naquela época (Van Dinther, 2011). Em 2019, o mesmo hambúrguer já custava cerca de nove euros (Porto e Berti, 2022).

A produção de carne cultivada incorpora tecnologias avançadas e novos ingredientes, podendo resultar em potenciais perigos e riscos durante o processo produtivo ainda não completamente definidos. Ketelings, Kremers e Boer (2021), 17 afirmam que a falta de

pesquisa aprofundada relacionada à caracterização de riscos e perigos de carne cultivada é considerada a maior barreira para introduzir um produto seguro no mercado.

Ademais, destaca-se que a produção de carne cultivada em laboratório representa uma perspectiva de crescimento e potencial econômico ao propor por meio do uso de tecnologias o fortalecimento do sistema alimentar global (Driessen & Korthals, 2012). Desse modo, este trabalho tem como objetivo analisar, à luz dos estudos mais recentes, os avanços relacionados à produção de carne cultivada, destacando as técnicas biotecnológicas envolvidas, seus potenciais aplicações na indústria alimentícia e os desafios que ainda limitam sua consolidação no mercado global.

2. METODOLOGIA

Este trabalho resulta de uma revisão integrativa da literatura, originalmente elaborada como requisito avaliativo da disciplina de Biologia Molecular e Biotecnologia do Curso de Biomedicina do Centro Universitário da Amazônia, Campus Santarém-PA, inserida nas Trilhas de Aprendizagem da graduação. O estudo foi conduzido com o objetivo de sistematizar e analisar as evidências científicas mais recentes sobre a produção de carne cultivada, com ênfase em seus aspectos tecnológicos, sustentabilidade, impactos ambientais e desafios de inserção no mercado.

Para a seleção dos trabalhos, foram consultadas as bases de dados PubMed, Science Direct e Google Acadêmico, utilizando os descritores “carne cultivada”, “carne in vitro”, “sustentabilidade” e “impacto ambiental”, combinados por operadores booleanos. Foram incluídos artigos completos, publicados entre 2019 e 2024, em português ou inglês, que abordassem diretamente a produção, os benefícios e os obstáculos associados à carne cultivada. Foram excluídos estudos duplicados, de acesso restrito ou que não tratassem do tema central.

Os artigos selecionados foram organizados em uma matriz analítica contendo autor, ano, objetivos, metodologia, principais resultados e conclusões, o que permitiu uma avaliação crítica e comparativa do estado da arte. A síntese dos dados foi realizada de forma descritiva, com enfoque nas técnicas biotecnológicas aplicadas, nos impactos ambientais positivos, na aceitação do consumidor e nas limitações técnicas e regulatórias ainda existentes. Por fim, a discussão foi estruturada com base na triangulação das informações, visando oferecer uma visão abrangente e atual sobre o potencial da carne cultivada como alternativa sustentável à proteína animal tradicional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. RESULTADOS

A síntese dos artigos revisados, organizada no Quadro 1, evidencia um consenso emergente na literatura acerca do papel transformador da carne cultivada no sistema alimentar global. A análise dos estudos selecionados, publicados entre 2019 e 2024, revela uma convergência temática em torno de três pilares principais: a sustentabilidade ambiental, os avanços biotecnológicos e os desafios de mercado e regulatórios. Esta organização permite não apenas uma visão panorâmica do estado da arte, mas também estabelece a base para uma discussão aprofundada sobre os caminhos e os obstáculos para a consolidação desta inovação. A partir desta fundamentação, a discussão a seguir se

propõe a analisar criticamente esses eixos, explorando as implicações técnicas, ambientais e sociais da produção de carne *in vitro*.

Quadro 1. Síntese da literatura revisada sobre carne cultivada: foco, principais tópicos abordados e período de publicação (2019-2024)

Artigo	Ano	Foco Principal	Principais Tópicos Abordados
Carne cultivada: foco na questão ambiental e sustentável	2022	Impactos ambientais da carne cultivada.	Discute o processo de produção da carne cultivada, seus potenciais impactos positivos (redução de gases de efeito estufa, uso de água e terra), questões de segurança alimentar e saúde, a percepção do público sobre o produto e os desafiospara sua ampla comercialização.
A carne cultivada e seu impacto no meio ambiente: uma revisão integrativa	2020	Carne cultivada como alternativa sustentável.	Aborda que a carne cultivada é uma alternativa inovadora à carne tradicional. Além disso, também analisa os principais aspectos técnicos, como a coleta de células-tronco e o uso de biorreatores.
Inovação tecnológica no setor produtivo da carne: in vitro a carne do futuro	2020	Inovação tecnológica na carne in vitro.	Aborda a carne in vitro como alternativa sustentável à produção tradicional, destacando seu desenvolvimento, benefícios ambientais, avanços tecnológicos e desafios para adoção.
Biotecnologia e produção de alimentos.	2022	Biotecnologia aplicada à produção de alimentos.	Analisa a participação dos microrganismos na fabricação de alimentos, entendendo o uso da biotecnologia e os processos fermentativos, e reconhecendo a importância da biotecnologia para uma agricultura mais saudável.
Uma análise na contemporaneidade acerca da importância da inserção de carnes produzidas em laboratórios.	2024	Proteínas alternativas e biotecnologia alimentar.	O artigo trata da carne cultivada em laboratório como alternativa sustentável à carne tradicional, ressaltando seus benefícios e desafios.
Carne cultivada: uma alternativa sustentável.	2023	Sustentabilidade na produção de carne.	Analisa a carne cultivada como uma alternativa sustentável à produção tradicional de carne e discute o processo de produção (coleta, proliferação e diferenciação celular, meios de cultivo e biorreatores).
Carne artificial: uma nova perspectiva baseada no cultivo de células-tronco e engenharia tecidual.	2019	Produção de carne em laboratório.	O artigo discute a carne artificial como alternativa à carne tradicional, utilizando células-tronco e engenharia tecidual, destacando seu potencial sustentável e os desafios para a produção em larga escala.
Proteínas alternativas: o papel da biotecnologia e dos bioprocessos na produção de novos alimentos.	2024	Biotecnologia aplicada a novos alimentos	O artigo apresenta que a biotecnologia e os bioprocessos oferecem soluções inovadoras para a produção de alimentos com proteínas alternativas, capazes de minimizar os impactos ambientais, atender às demandas futuras e fornecer opções nutritivas aos consumidores.
Análise de perigos e pontos críticos de controle para produção de linguiça frescal de carne bovina cultivada	2024	Segurança e controle na produção de carne cultivada.	Busca garantir a segurança e a qualidade da linguiça frescal de carne bovina cultivada através da aplicação da metodologia APPCC, adaptando os conhecimentos existentes da indústria de alimentos às particularidades desse novo processo produtivo.

Fonte: Os autores, (2025).

3.2. DISCUSSÃO

3.2.1. O POTENCIAL DA CARNE CULTIVADA E ACEITAÇÃO

O potencial da carne cultivada como uma alternativa promissora frente aos desafios ambientais e produtivos do modelo pecuário tradicional. Assim como apontado por Oliveira e Mendonça (2023), a carne cultivada apresenta vantagens significativas na redução de gases do efeito estufa, uso de água e ocupação de terras, além de minimizar o sofrimento animal. Esses achados convergem com os estudos de Toumisto e Teixeira (2011), que estimam reduções de até 90% nas emissões de gases de efeito estufa em comparação com a pecuária convencional. Essa visão é reforçada por Lima et al. (2022), que apontam a biotecnologia aplicada à produção de carne cultivada como um dos avanços mais promissores no campo da segurança alimentar e da sustentabilidade global.

Entretanto, apesar de seu potencial sustentável, a tecnologia ainda enfrenta obstáculos técnicos e econômicos que limitam sua aplicação em larga escala. Outro ponto bastante discutido na literatura é a aceitação do consumidor. Embora muitos reconheçam os benefícios ambientais e éticos da carne cultivada, persistem resistências relacionadas à percepção de artificialidade e desconfiança quanto à segurança e naturalidade do produto. Estudos como os de Siegrist e Hartmann (2020) demonstram que a familiaridade e a informação são fatores determinantes para aumentar a aceitação pública.

Dessa forma, observa-se que a inovação no setor da carne in vitro não se limita à esfera tecnológica, mas abrange aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Conforme salientado por Lima et al. (2022), a integração entre pesquisa científica, investimento industrial e regulamentação sanitária será decisiva para a transição de uma produção experimental para um sistema comercialmente viável e socialmente aceito.

3.2.2. PRINCIPAIS TÉCNICAS

O artigo de Santos (2019) apresenta uma análise abrangente sobre os avanços científicos e tecnológicos que vêm possibilitando o desenvolvimento da carne artificial, com base na cultura de células-tronco e na engenharia tecidual. O autor destaca que o principal impulso para essa inovação está nos desafios enfrentados pela pecuária tradicional, como por exemplo o elevado impacto ambiental, a demanda crescente por proteína animal e as preocupações éticas e de bem-estar animal. Santos (2019) descreve com clareza o processo técnico de produção da carne cultivada, dividido em cinco etapas principais: coleta do tecido muscular, isolamento e expansão das células progenitoras adultas multipotentes (CPAMs-TM), diferenciação celular e montagem do tecido muscular em arcabouços apropriados.

3.2.2.1. IMPACTOS POSITIVOS

A carne cultivada tem se destacado como uma inovação promissora diante dos desafios ambientais e produtivos da pecuária convencional. Entre seus principais impactos positivos estão a redução significativa das emissões de gases do efeito estufa, como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), e o menor consumo de recursos naturais**,** especialmente água e solo, necessários para a criação de animais Oliveira; Mendonça, 2022.

Além disso, a tecnologia de cultivo celular elimina o abate animal**,** promovendo uma alternativa ética e sustentável de obtenção de proteína Santos, 2019. Essas inovações

reforçam o papel da biotecnologia como ferramenta essencial para a produção sustentável de alimentos, capaz de atender à crescente demanda mundial por proteína animal sem comprometer os ecossistemas e os recursos do planeta Silva, 2024.

Assim como dos benefícios ambients, há também vantagens éticas e sanitárias. Como o processo não envolve o abate de animais, elimina-se o sofrimento animal e as condições precárias de confinamento observadas na pecuária intensiva Santos, 2019. Do ponto de vista da saúde pública, a carne cultivada é produzida em ambientes controlados, sem a necessidade de antibióticos, pesticidas ou hormônios, reduzindo o risco de contaminações microbianas e o desenvolvimento de resistência bacteriana Oliveira; Mendonça, 2023. Outro ponto positivo é a possibilidade de personalização nutricional, permitindo ajustar níveis de gordura, proteínas e micronutrientes para torná-la mais saudável e adequada às necessidades do consumidor Bailone et al., 2020. No âmbito econômico e tecnológico, a carne cultivada impulsiona o avanço da engenharia de tecidos e da biotecnologia alimentar**,** estimulando novas cadeias produtivas e áreas de pesquisa. Esse progresso pode gerar oportunidades de emprego altamente qualificado e reduzir a dependência de práticas agropecuárias ambientalmente degradantes Silva, 2024. Além disso, países em desenvolvimento, como o Brasil, podem se beneficiar ao incorporar essa inovação em seus sistemas produtivos, equilibrando crescimento econômico e preservação ambiental Oliveira; Mendonça, 2023.

Portanto, a carne cultivada apresenta uma série de impactos positivos ambientais, éticos, sanitários e econômicos que a posicionam como uma alternativa viável à produção convencional de carne.

3.2.2.2. TÉCNICAS DE PRODUÇÃO

A produção de carne cultivada, também denominada in vitro, consiste na obtenção de tecido muscular a partir de células-tronco, sem a necessidade de criação e abate de animais. As células são coletadas por biópsia de animais vivos ou de embriões e, posteriormente, colocadas em meio de cultura adequado, iniciando o processo de proliferação celular. Essa etapa é fundamental para gerar a massa celular necessária para a produção de carne artificial, permitindo a expansão e multiplicação das células musculares (Bailone et al., 2019).

O segundo estágio envolve a expansão celular em biorreatores, com parâmetros ambientais controlados, como temperatura, oxigenação e pH, associados à presença de nutrientes e fatores de crescimento. Para que as células-tronco se fixem e se organizem em tecido muscular, utiliza-se um scaffold ou suporte comestível, que imita a matriz extracelular natural e facilita o desenvolvimento de fibras musculares (Bailone et al., 2019).

A diferenciação celular constitui a terceira fase, na qual os mioblastos se fundem formando miotubos e fibras musculares maduras. A maturação das miofibras é essencial para que a carne cultivada adquira características estruturais, funcionais e sensoriais semelhantes às da carne tradicional (Bailone et al., 2019). Esse processo é controlado por meios de diferenciação específicos que induzem a formação das proteínas musculares, como actina e miosina, e da mioglobina, responsável pela cor e sabor do produto.

A etapa seguinte refere-se à montagem do produto final, em que as fibras musculares colhidas podem ser processadas para produção de alimentos cárneos como hambúrgueres, nuggets e salsichas. Adicionalmente, aditivos podem ser incorporados

para otimizar cor, textura e sabor, garantindo aceitabilidade sensorial. Atualmente, produtos processados são mais viáveis comercialmente do que carnes estruturadas tridimensionais, cujos métodos de produção ainda demandam avanços tecnológicos (Bailone et al., 2019).

A carne cultivada apresenta vantagens ambientais, éticas e sanitárias, incluindo a redução do uso de água, solo e energia, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, o controle de doenças animais e a eliminação do abate. Apesar de barreiras como o alto custo inicial e a necessidade de meios de cultura livres de componentes animais, a tecnologia representa uma alternativa promissora e sustentável para suprir a crescente demanda global por proteínas de origem animal (Bailone et al., 2019).

Figura 1 Etapas do processo de produção da carne cultivada

Fonte: SWI swissinfo.ch

A produção de carne cultivada é um processo biotecnológico inovador que utiliza princípios da engenharia de tecidos para gerar carne real sem a necessidade do abate animal. O processo inicia-se com a coleta de células-tronco por meio de uma biópsia minimamente invasiva de um animal vivo ou a partir de um pequeno fragmento de carne fresca. Essas células, com capacidade de multiplicação e diferenciação, são então isoladas e inseridas em um meio de cultura rico em nutrientes, que pode ter origem sintética, animal ou vegetal, contendo fatores de crescimento que favorecem o desenvolvimento celular (Santos, 2019).

Em seguida, ocorre a proliferação das células em biorreatores**,** equipamentos que simulam as condições ideais de temperatura, oxigenação e nutrição, permitindo o crescimento das células musculares de forma controlada e livre de contaminantes (Oliveira; Mendonça, 2022). Após atingir uma densidade celular adequada, as células começam a se organizar em fibras musculares, que passam por um processo de maturação e modelagem para adquirir textura e aparência semelhantes à carne convencional.

Por fim, o produto obtido é a carne cultivada**,** idêntica em composição nutricional e estrutural à carne tradicional, porém produzida de maneira sustentável, ética e segura**.** Esse método reduz significativamente o uso de água e terra, evita o sofrimento animal e contribui para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, apresentando-se como uma alternativa promissora para o futuro da alimentação (Oliveira; Mendonça, 2023).

3.2.3. ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE LINGUIÇA FRESCAL DE CARNE BOVINA CULTIVADA

O desenvolvimento de produtos alimentícios a base de células cultivadas apresenta ser uma alternativa promissora para atender à crescente demanda por proteína de origem animal, entretanto, a garantia da segurança e qualidade do produto final se torna uma preocupação, quando novas tecnologias são aplicadas a produtos destinados ao consumo humano.

O estudo desenvolvido por Venzel (2024) apresenta uma abordagem inovadora ao aplicar os princípios do sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) na produção de linguiça frescal de carne bovina cultivada. O desenvolvimento de produtos alimentícios a base de células cultivadas apresenta ser uma alternativa promissora para atender à crescente demanda por proteína de origem animal, entretanto, a garantia da segurança e qualidade do produto final se torna uma preocupação, quando novas tecnologias são aplicadas a produtos destinados ao consumo humano. Essa aplicação demonstra a viabilidade de adaptar metodologias tradicionais da indústria alimentícia às novas demandas impostas pela biotecnologia, garantindo segurança e qualidade ao produto final.

O trabalho destaca que, por se tratar de uma carne obtida a partir do cultivo celular in vitro, é fundamental assegurar que o ambiente de produção seja totalmente controlado e livre de contaminações, uma vez que qualquer interferência microbiana pode comprometer a integridade do produto. Nesse contexto, a implementação de um plano de APPCC é essencial para identificar e monitorar os pontos críticos do processo, desde a obtenção das células-tronco até o envase do produto final.

De acordo com Venzel (2024), a carne cultivada apresenta potencial para revolucionar a indústria alimentícia, sendo uma alternativa sustentável à carne tradicional. No entanto, a segurança alimentar e o controle higiênico-sanitário, apresentam perigos químicos ainda precisam ser amplamente discutidos. O estudo propõe medidas rigorosas de controle de temperatura, esterilidade de materiais, pureza de meios de cultivo e monitoramento de microrganismos patogênicos, garantindo a padronização e rastreabilidade em todas as etapas.

Além disso, o trabalho evidencia a importância de protocolos de boas práticas de fabricação aliados à biotecnologia, o que contribui para a aceitação da carne cultivada no mercado consumidor. A autora ressalta que o desenvolvimento de produtos como a linguiça frescal cultivada representa um avanço significativo para o setor, pois alia inovação, sustentabilidade e segurança alimentar, abrindo caminho para a regulamentação e a inserção comercial desses alimentos no Brasil. Assim, a pesquisa de Venzel (2024) reforça a relevância da aplicação de ferramentas de controle de qualidade e biossegurança, para o conceito de qualidade para as indústrias de alimentos na biotecnologia de alimentos, demonstrando que a produção de carne cultivada pode

atender aos padrões exigidos pela indústria, desde que acompanhada por protocolos técnicos e sanitários adequados.

3.2.4. ACEITAÇÃO DO CONSUMIDOR

Como apresentado no artigo, a aceitação do consumidor é um fator determinante para o sucesso e consolidação da carne cultivada como alternativa viável à produção convencional de carne. Apesar de seu grande potencial ambiental, tecnológico e ético, ainda há barreiras culturais, emocionais e informacionais que influenciam a percepção do público em relação a esse novo tipo de alimento. De modo geral, o conceito de "carne produzida em laboratório" gera, inicialmente, resistência psicológica associada à ideia de artificialidade e manipulação biotecnológica (Oliveira; Mendonça, 2023). Essa reação é compreensível, uma vez que o consumo de carne está profundamente enraizado em práticas culturais e tradições alimentares, tornando qualquer mudança no modo de produção um desafio para a aceitação social.

Contudo, pesquisas apontam que a aceitação tende a aumentar significativamente à medida que os consumidores recebem informações corretas sobre o processo de produção, especialmente quando compreendem que se trata de carne real, derivada de células animais e não de um produto vegetal ou sintético (Santos, 2019). Essa percepção melhora ainda mais quando o consumidor entende os benefícios ambientais e éticos da carne cultivada, como a redução do abate animal, a preservação dos ecossistemas e a diminuição das emissões de gases do efeito estufa. Dessa forma, o conhecimento científico e a transparência na comunicação são elementos fundamentais para fortalecer a confiança do público.

Outros fatores que podem influenciar a aceitação incluem o preço, o sabor**,** a aparência e a textura do produto. Pesquisas mostram que, quando as características sensoriais da carne cultivada se aproximam da carne tradicional e o custo torna-se competitivo, o nível de aceitação aumenta consideravelmente (Alexandrino et al., 2023). O público jovem, urbano e com maior nível de escolaridade tende a demonstrar maior abertura à inovação, especialmente quando informado sobre os impactos ambientais da pecuária e as vantagens sustentáveis da biotecnologia alimentar (Silva, 2024).

Além disso, a aceitação social está intimamente ligada à confiança na segurança alimentar. O fato de a carne cultivada ser produzida em ambiente controlado e livre de antibióticos, hormônios e contaminações microbianas é um aspecto que pode gerar credibilidade e sensação de segurança entre os consumidores (Oliveira; Mendonça, 2022). Nesse contexto, as políticas públicas e campanhas educativas têm papel essencial para desmistificar o processo biotecnológico e apresentar a carne cultivada como uma extensão do progresso científico voltado à sustentabilidade, e não como uma ruptura artificial do natural.

Portanto, a aceitação do consumidor depende de uma combinação de fatores socioculturais, econômicos e informativos. À medida que os custos de produção diminuírem, o sabor e a textura forem aprimorados e a comunicação científica se tornar mais acessível, é esperado que a carne cultivada conquiste maior adesão social e se consolide como uma alternativa ética, saudável e ambientalmente responsável dentro do mercado global de proteínas (Alexandrino et al., 2023; Silva, 2024).

3.2.5. IMPACTOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE CARNE CULTIVADA

A produção de carne cultivada surge como uma alternativa promissora frente aos impactos ambientais da pecuária convencional. Estudos indicam que o cultivo celular de carne demanda significativamente menos recursos naturais, como água e terra, quando comparado à produção tradicional de carne bovina, reduzindo assim a pressão sobre ecossistemas sensíveis (Dantas & Mendoça, 2020). A diminuição da necessidade de pastagens extensas também contribui para a preservação da biodiversidade e a mitigação do desmatamento, fatores críticos no contexto da crise climática global.

Além disso, a carne cultivada apresenta potencial de redução das emissões de gases de efeito estufa associadas à criação de animais, sobretudo metano, um dos principais contribuintes para o aquecimento global (Dantas & Mendonça, 2020). Embora a produção em laboratório ainda consuma energia, as técnicas emergentes em bioengenharia e otimização de biorreatores têm buscado minimizar a pegada de carbono, tornando o processo cada vez mais sustentável em larga escala.

Outro aspecto relevante é a eficiência produtiva proporcionada pela carne cultivada. Diferentemente da pecuária tradicional, em que grande parte da biomassa animal não é aproveitada diretamente para consumo humano, o cultivo celular permite a produção de tecido muscular específico, reduzindo desperdícios e aumentando a relação entre insumos utilizados e produto final obtido (Dantas & Mendonça,2020). Essa eficiência contribui para o uso mais racional de recursos e a possibilidade de atender a crescente demanda global por proteínas de forma mais sustentável.

Por fim, a adoção da carne cultivada tem implicações socioambientais significativas. Ao reduzir a dependência de sistemas extensivos de criação de animais, diminui-se também a exposição a impactos negativos sobre o solo, água e qualidade do ar, promovendo práticas alimentares alinhadas com os princípios da sustentabilidade (Dantas e Mendonça, 2020). Dessa forma, a carne cultivada se posiciona não apenas como uma inovação tecnológica, mas como uma estratégia integrada de mitigação ambiental e produção ética de alimentos.

3.2.6. DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA CARNE CULTIVADA

Apesar dos inúmeros avanços científicos e benefícios ambientais associados à carne cultivada, ainda existem diversos desafios que dificultam sua produção em larga escala e a consolidação no mercado global. Um dos principais obstáculos é o alto custo de produção**,** já que o processo envolve tecnologias complexas, como o uso de biorreatores, meios de cultura específicos e fatores de crescimento que ainda apresentam valor econômico elevado (Santos, 2019). Embora os custos tenham diminuído significativamente desde o primeiro hambúrguer cultivado em 2013, a carne in vitro ainda não é economicamente competitiva com a carne convencional (Oliveira; Mendonça, 2022).

Outro desafio relevante é o desenvolvimento de meios de cultura mais acessíveis e éticos**,** uma vez que muitos ainda utilizam soro fetal bovino derivado de animais o que contraria parte da proposta de sustentabilidade e bem-estar animal. Pesquisas vêm buscando substituir esse componente por meios sintéticos ou de origem vegetal**,** capazes de fornecer os mesmos nutrientes sem comprometer o crescimento celular (Silva, 2024). Além dos desafios técnicos e econômicos, há também barreiras regulatórias e

socioculturais**.** A ausência de legislações específicas em diversos países dificulta a comercialização e padronização do produto. No Brasil, a regulamentação de novos alimentos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) ainda está em processo de discussão, o que retarda a entrada da carne cultivada no mercado (Silva, 2024). No aspecto social, a aceitação do consumidor ainda depende de fatores como confiança na segurança alimentar, preço competitivo e informações claras sobre os benefícios da biotecnologia (Alexandrino et al., 2023).

Por fim, há desafios relacionados à infraestrutura e escalabilidade**.** A transição de laboratórios para sistemas industriais de produção requer investimentos expressivos em equipamentos, energia e tecnologia de automação, além da necessidade de profissionais qualificados. No entanto, à medida que a pesquisa avança e os custos diminuem, a carne cultivada tende a se tornar uma opção mais acessível, sustentável e amplamente aceita**,** representando um marco na evolução da indústria alimentícia (Oliveira; Mendonça, 2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da presente revisão da literatura, constata-se que a carne cultivada desponta como uma das inovações mais promissoras no campo da biotecnologia aplicada à alimentação, com potencial para transformar de forma significativa o sistema produtivo e o consumo de proteínas de origem animal. Essa tecnologia representa uma resposta concreta aos desafios ambientais, éticos e sociais impostos pela pecuária tradicional, que há décadas contribui para o desmatamento, o consumo excessivo de recursos naturais e a emissão de gases do efeito estufa. Nesse contexto, a carne cultivada surge como um instrumento de transição para um modelo alimentar mais sustentável, pautado em princípios de responsabilidade ambiental, eficiência produtiva e bem-estar animal. A aplicação da biotecnologia na produção de carne permite a obtenção de tecidos musculares reais a partir do cultivo de células-tronco, eliminando a necessidade do abate de animais e reduzindo de forma expressiva o impacto ambiental. O processo, desenvolvido em ambiente controlado, também contribui para uma maior segurança alimentar, uma vez que evita o uso de antibióticos, pesticidas e hormônios, além de minimizar riscos de contaminação microbiana. Assim, a carne cultivada não se limita a uma inovação tecnológica, mas reflete uma mudança de paradigma na forma como os alimentos são produzidos e consumidos, integrando ciência, sustentabilidade e ética.

Entretanto, apesar dos benefícios comprovados, ainda persistem desafios técnicos e econômicos que impedem sua ampla adoção. O alto custo dos meios de cultura, a necessidade de biorreatores de grande capacidade e o investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento são fatores que encarecem a produção e limitam o acesso do consumidor. Soma-se a isso a resistência cultural e a falta de informação, que influenciam diretamente na aceitação social desse novo alimento. Tais obstáculos, no entanto, vêm sendo gradualmente superados com o avanço das pesquisas, o aperfeiçoamento das técnicas de cultivo celular e o crescimento do interesse global por soluções alimentares mais éticas e sustentáveis. Assim, é razoável afirmar que, em um futuro próximo, a carne cultivada poderá ser uma realidade para a população global, dado o constante avanço da biotecnologia.

REFERÊNCIAS

[1] ALEXANDRINO, Amaryllis Manholetti et al. Carne cultivada: foco na questão ambiental e sustentável. InGxzzeTec – Inovação, Gestão & Tecnologia, v. 2, n. 5, p. 32–34, dez. 2023.

[2] BAILONE, Ricardo Lacava et al. Technological innovation in the productive sector of meat: in vitro, the meat of the future. Journal on Innovation and Sustainability RISUS, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 104–113, 2020.

[3] DANELON, Jacqueline Bombonatto. Biotecnologia e produção de alimentos. Sertãozinho: Escola Profª Nícia Fabíola Zanutto Giraldi, s.d. Disponível em: https://sobiologia.com.br. Acesso em: 30 abr. 2025.

[4] GALLAND, Fabiana Andrea Barrera; PACHECO, Maria Teresa Bertoldo. Carne cultivada. São Paulo: Tiki Books: The Good Food Institute Brasil, 2022. (Série Tecnológica das Proteínas Alternativas).

[5] OLIVEIRA, Yuri Bassi de et al. Uma análise na contemporaneidade acerca da importância da inserção de carnes produzidas em laboratórios. In: Biotecnologia e biodiversidade: novas perspectivas em pesquisa. São Mateus: Editora Científica, 2024. v. 1, p. 138-145

[6] OLIVEIRA, Carlos André Dantas de; MENDONÇA, Lidiane Pinto de. A carne cultivada e seu impacto no meio ambiente: uma revisão integrativa. Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, v. 3, n. 1, p. 40–42, 2022.

[7] OLIVEIRA, Carlos André Dantas de; MENDONÇA, Lidiane Pinto de. Carne cultivada: uma alternativa sustentável. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, Curitiba, v. 12, n. 24, p. 42–56, 2023.

[8] SANTOS, Enrico Jardim Clemente. Carne artificial: uma nova perspectiva baseada no cultivo de células-tronco e engenharia tecidual. Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas, v. 26, p. 1-9, 2019

[9] SILVA, Luiza Maíra Ribeiro da. Proteínas alternativas: o papel da biotecnologia e dos bioprocessos na produção de novos alimentos. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, 2024.

Capítulo 2

Potencial funcional e aplicações alimentícias da macaúba: avanços e perspectivas na valorização de frutos nativos brasileiros e prospecção tecnológica

Elienae da Silva Gomes
Alexandra Perdigão Maia de Souza
Amábile Mariano Marques
Bruno Eckert Bertuol
Elizangela Regina da Silva Martins
Flávia Teixeira Keller
Gabrieli de França Tonhão
Jessica da Silva Agostinho Bertuol
Luana Morais Antonini
Simone Maria Altoé Porto
Mayara Zagotto
Wanessa Mulek Boza da Silva

Resumo: A crescente demanda por alimentos funcionais tem impulsionado o interesse científico e tecnológico por espécies vegetais nativas com elevado potencial nutricional e bioativo. Nesse contexto, a macaúba (*Acrocomia aculeata*), uma palmeira amplamente distribuída no bioma Cerrado e na Caatinga, destaca-se por apresentar elevada produtividade e composição rica em compostos bioativos, como ácidos graxos mono e poli-insaturados, carotenoides, tocoferóis e compostos fenólicos. Esses constituintes conferem ao fruto propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e cardioprotetoras, com potencial aplicação na formulação de alimentos funcionais e nutracêuticos. Além disso, a valorização da macaúba representa uma oportunidade estratégica para o desenvolvimento sustentável de bioprodutos e a conservação da biodiversidade brasileira. Esta revisão narrativa tem como objetivo discutir os avanços científicos sobre a composição química, o potencial funcional e as aplicações alimentícias da macaúba, destacando suas perspectivas como recurso promissor na valorização de frutos nativos brasileiros.

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata,* compostos bioativos, óleo vegetal, alimentos funcionais, biodiversidade brasileira.

1. INTRODUÇÃO

A busca por alimentos capazes de promover benefícios à saúde além de suas funções nutricionais básicas tem impulsionado a expansão do mercado de alimentos funcionais, conceito consolidado nas últimas décadas como uma das principais tendências globais em ciência e tecnologia de alimentos (Siró et al., 2008; Granato et al., 2020). No Brasil, a vasta biodiversidade vegetal oferece inúmeras possibilidades de exploração de frutos nativos, muitos dos quais permanecem subutilizados, mas apresentam elevado potencial nutricional e funcional (Lima et al., 2021).

Entre essas espécies, destaca-se a macaúba (Acrocomia aculeata), uma palmeira amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais da América Latina, especialmente nos biomas Cerrado e Caatinga (Kinupp *et al*., 2021). Tradicionalmente utilizada na alimentação humana e animal, a macaúba tem ganhado destaque científico por sua composição química complexa e rica em compostos bioativos, especialmente os presentes em seus óleos da polpa e da amêndoa, como ácido oleico, carotenoides e tocoferóis (Rodrigues et al., 2021; Silva *et al*., 2023).

Estudos recentes indicam que esses compostos conferem à macaúba propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e hipolipemiantes, sugerindo um potencial significativo para o desenvolvimento de produtos alimentícios com alegações funcionais (Barbosa et al., 2022). Além disso, a exploração sustentável da macaúba pode contribuir para a valorização de cadeias produtivas regionais e para a promoção da bioeconomia brasileira, alinhando-se aos princípios de conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico (Fernandes et al., 2020).

Assim, compreender o potencial funcional e as aplicações alimentícias da macaúba torna-se fundamental para ampliar o conhecimento científico sobre esse fruto nativo e incentivar sua inserção em novos produtos com valor agregado. Essa revisão narrativa propõe-se a reunir os principais avanços e perspectivas sobre a utilização da macaúba como alimento funcional, enfatizando suas características químicas, benefícios à saúde e aplicações tecnológicas.

2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E COMPOSTOS BIOATIVOS

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) apresenta uma composição química complexa e equilibrada, caracterizada pela presença de macronutrientes essenciais, lipídios de alta qualidade e compostos bioativos com relevância funcional. O fruto é constituído por epicarpo, mesocarpo (polpa), endocarpo e amêndoa, sendo que tanto a polpa quanto a amêndoa são fontes expressivas de óleos vegetais com potencial nutracêutico (Rodrigues *et al*., 2021).

O óleo extraído da polpa é rico em ácido oleico (C18:1, cerca de 55–65%) e ácido palmítico (C16:0, 20–25%), além de conter quantidades significativas de carotenoides e tocoferóis, que atuam como antioxidantes naturais (Silva et al., 2023). Já o óleo da amêndoa apresenta teores mais elevados de ácido láurico (C12:0) e ácido mirístico (C14:0), características que o aproximam de óleos tropicais como o de coco e babaçu, conferindo-lhe propriedades interessantes para a indústria alimentícia e cosmética (Barbosa *et al*., 2022).

Além dos lipídios, a polpa da macaúba contém teores apreciáveis de açúcares redutores, fibras alimentares, minerais (potássio, magnésio e ferro) e proteínas, o que reforça seu

potencial como ingrediente multifuncional (Fernandes *et al*., 2020). A presença de compostos fenólicos, como ácidos ferúlico e p-cumárico, contribui para a capacidade antioxidante e pode desempenhar papel importante na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo (Silva et al., 2023).

Do ponto de vista bioquímico, a sinergia entre ácidos graxos insaturados, carotenoides e compostos fenólicos confere à macaúba um perfil funcional promissor, com potenciais efeitos anti-inflamatórios, cardioprotetores e imunomoduladores (RODRIGUES *et al.*, 2021; Lorenzi *et al*., 2022). Essa diversidade de compostos bioativos abre caminhos para sua aplicação em formulações alimentícias funcionais, como óleos comestíveis, suplementos lipídicos e produtos enriquecidos com antioxidantes naturais.

A caracterização de ácidos graxos da macaúba, portanto, revela não apenas um alto valor nutricional, mas também potenciais usos tecnológicos e funcionais, reforçando a importância da valorização dessa espécie nativa como fonte sustentável de compostos bioativos de interesse alimentar e farmacêutico. Na tabela 1, são apresentados os principais ácidos graxos da macaúba. Na figura 1, fruto do macaúba.

Figura 1. Fruto da macaúba

Fonte: Diário do Nordeste (2025).

A macaúba apresenta uma composição rica em compostos bioativos com importantes funções fisiológicas. Entre os carotenoides predominam o β-caroteno, a luteína e a zeaxantina, que exercem ação antioxidante, protegendo as células contra radicais livres e contribuindo para a saúde ocular e imunológica, estando concentrados principalmente na polpa (Silva *et al*., 2023; Rodrigues *et al.*, 2021).

Os tocoferóis (vitamina E), representados principalmente pelas formas α-tocoferol e γ-tocoferol, encontram-se na polpa e na amêndoa, desempenhando papel antioxidante lipossolúvel, protegendo os lipídios celulares da oxidação e apresentando efeitos cardioprotetores (Barbosa *et al*., 2022).

Entre os compostos fenólicos, destacam-se o ácido ferúlico, o ácido p-cumárico e o ácido gálico, que possuem reconhecido potencial anti-inflamatório e antioxidante, além de

contribuírem para a modulação do estresse oxidativo e a possível prevenção de doenças crônicas (Silva *et al*., 2023).

A fração lipídica da macaúba contém ácidos graxos essenciais, como o oleico, linoleico e palmítico, os quais estão presentes tanto na polpa quanto na amêndoa e participam da regulação do metabolismo lipídico, da manutenção da integridade celular e exercem ação hipoglicemiante (Rodrigues *et al*., 2021).

Além disso, a polpa da macaúba é fonte relevante de minerais, especialmente potássio, magnésio, ferro, cálcio e fósforo, que desempenham papéis importantes na regulação da pressão arterial, função muscular e enzimática, e no transporte de oxigênio (Fernandes *et al.,* 2020; Lorenzi *et al*., 2022).

Por fim, a presença de fibras alimentares solúveis e insolúveis contribui para a melhora da digestão e do trânsito intestinal, auxiliando também no controle glicêmico e na redução da absorção de lipídios (Fernandes *et al*., 2020).

3. POTENCIAIS BENEFÍCIOS À SAÚDE ASSOCIADOS AO CONSUMO DA MACAÚBA (ACROCOMIA ACULEATA)

O consumo da macaúba tem despertado crescente interesse científico devido à sua rica composição em ácidos graxos monoinsaturados, compostos fenólicos, carotenoides e tocoferóis, que conferem ao fruto propriedades funcionais e efeitos benéficos à saúde humana. O óleo extraído da polpa apresenta elevado teor de ácido oleico (C18:1), similar ao observado no azeite de oliva, o que está associado à melhora do perfil lipídico plasmático, à redução do colesterol LDL e à elevação do HDL, contribuindo para a prevenção de doenças cardiovasculares (Silva *et al*., 2023; Martins *et al.,* 2020).

Além disso, os carotenoides, em especial o β-caroteno e a luteína, exercem potente ação antioxidante, atuando na neutralização de radicais livres e na proteção das membranas celulares contra a peroxidação lipídica. Tais compostos estão relacionados à manutenção da saúde ocular, à modulação da resposta imunológica e à prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como o câncer e o diabetes mellitus tipo 2 (Rodrigues *et al*., 2021; Barbosa *et al*., 2022).

A presença significativa de tocoferóis (vitamina E) no óleo da macaúba também reforça seu potencial funcional, uma vez que esse composto lipossolúvel contribui para a integridade das membranas celulares e apresenta propriedades anti-inflamatórias e cardioprotetoras (Silva *et al.,* 2023). Do mesmo modo, os compostos fenólicos, como os ácidos ferúlico e p-cumárico, demonstram capacidade de modular vias metabólicas relacionadas ao estresse oxidativo, além de possuírem efeito protetor frente à oxidação de lipoproteínas e ao dano tecidual (Fernandes *et al*., 2020; Lorenzi *et al*., 2022).

Outro aspecto relevante é o teor de fibras alimentares presente na polpa, que favorece o equilíbrio da microbiota intestinal, a regulação do trânsito intestinal e o controle da glicemia pós-prandial, além de contribuir para a sensação de saciedade e o controle do peso corporal (Martins *et al*., 2020). Estudos recentes indicam ainda que a incorporação da macaúba em produtos alimentícios, como farinhas, barras nutricionais e óleos funcionais, pode representar uma estratégia promissora para o desenvolvimento de alimentos com apelo sustentável e propriedades bioativas (Barbosa *et al*., 2022; Silva *et al.*, 2023).

Em síntese, a macaúba destaca-se como um alimento funcional de alto potencial para a promoção da saúde e prevenção de doenças crônicas, sobretudo por sua composição diversificada em lipídios saudáveis, antioxidantes naturais e fibras. Contudo, faz-se necessário o avanço em pesquisas clínicas e tecnológicas que validem seus efeitos em humanos e ampliem suas aplicações no contexto da alimentação funcional e sustentável (Rodrigues *et al*., 2021; Silva *et al.*, 2023).

4. APLICAÇÕES ALIMENTÍCIAS E TECNOLÓGICAS DA MACAÚBA

A versatilidade da macaúba (Acrocomia aculeata) tem despertado o interesse da indústria de alimentos pela diversidade de produtos que podem ser obtidos a partir de seus componentes — polpa, amêndoa e óleo. A ampla disponibilidade do fruto em regiões tropicais, aliada à sua composição rica em ácidos graxos insaturados, carotenoides, tocoferóis e compostos fenólicos, confere-lhe elevado potencial para o desenvolvimento de produtos funcionais e sustentáveis (Rodrigues et al., 2021).

O óleo da polpa da macaúba, de coloração amarelada intensa devido ao alto teor de carotenoides, apresenta excelente estabilidade oxidativa e perfil lipídico favorável, sendo uma alternativa viável para substituir óleos convencionais em formulações alimentícias, como margarinas, maioneses, molhos, biscoitos e produtos de panificação (Silva *et al*., 2023). Além disso, o elevado conteúdo de ácido oleico e tocoferóis confere resistência térmica e capacidade antioxidante natural, características desejáveis para o uso culinário e industrial (Barbosa *et al*., 2022).

O óleo da amêndoa, por sua vez, possui perfil semelhante ao de óleos tropicais como o de coco e babaçu, com predominância de ácidos graxos de cadeia média (láurico e mirístico), que proporcionam boa estabilidade térmica e rápida digestibilidade (Fernandes *et al*., 2020). Esse óleo é amplamente estudado para uso em produtos de confeitaria, chocolates, bebidas vegetais, emulsões alimentícias e substitutos de gordura, podendo atuar como ingrediente funcional em formulações de baixo teor lipídico ou sem gordura trans.

Além dos óleos, a farinha da polpa e da amêndoa tem mostrado potencial para aplicação em produtos de panificação, barras de cereais e suplementos proteicos, em função do conteúdo de fibras alimentares, proteínas e minerais (Lima *et al*., 2021). Essas farinhas podem contribuir para melhorar o valor nutricional, reduzir o índice glicêmico e aumentar o teor de antioxidantes de produtos destinados a dietas funcionais e equilibradas.

Os extratos ricos em compostos fenólicos e carotenoides da macaúba também vêm sendo estudados como corantes e antioxidantes naturais, substituindo aditivos sintéticos em alimentos processados (Silva *et al*., 2023). Além de garantir a estabilidade oxidativa de óleos e emulsões, esses compostos agregam valor funcional e atratividade sensorial aos produtos.

Do ponto de vista tecnológico, a macaúba se destaca ainda pela aproveitabilidade integral do fruto, uma vez que o epicarpo e o endocarpo podem ser utilizados como biomassa para energia ou fontes de fibras lignocelulósicas, promovendo o conceito de produção sustentável e economia circular (Lorenzi *et al*., 2022). Essa característica reforça a importância da macaúba não apenas como recurso alimentício, mas também como matéria-prima estratégica para o desenvolvimento de cadeias produtivas sustentáveis e bioprodutos de valor agregado.

Assim, a macaúba emerge como uma fonte multifuncional e sustentável, com aplicabilidade na formulação de alimentos inovadores, emulsões estáveis, substitutos lipídicos e ingredientes antioxidantes naturais, alinhando-se às tendências contemporâneas de saúde, bem-estar e sustentabilidade.

5. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

5.1. METODOLOGIA

A prospecção tecnológica relacionada à Macaúba (*Acrocomia aculeata*) tem revelado um crescimento expressivo de estudos e registros de patentes voltados à utilização integral do fruto, refletindo o potencial estratégico da macaúba como fonte de compostos bioativos, óleo vegetal e ingredientes funcionais. Essa tendência reforça o interesse científico e industrial em agregar valor à espécies nativas brasileiras, promovendo a bioeconomia e a sustentabilidade (Silva *et al*., 2023; Lorenzi *et al.,* 2022).

Um estudo das patentes foi realizado em novembro de 2025, com o uso da base de dados Espacenet, disponibilizada gratuitamente pelo Escritório Europeu de Patentes (EPO). A escolha dessa plataforma se deve à sua abrangência, confiabilidade e interface de busca avançada, que permite o acesso a mais de 150 milhões de documentos de patente provenientes de mais de 100 países, abrangendo diferentes idiomas e períodos de publicação (EPO, 2025).

A base Espacenet possibilita a realização de buscas por palavras-chave, inventores, classificações internacionais de patentes (IPC), números de publicação e outras variáveis. Essa flexibilidade permite identificar tendências tecnológicas, áreas emergentes de inovação e principais atores (instituições e inventores) que atuam em determinado segmento. Além disso, a plataforma oferece acesso aos documentos completos, contendo descrições detalhadas, reivindicações e desenhos técnicos, além de disponibilizar tutoriais e guias de busca, o que facilita a reprodutibilidade da metodologia empregada. As atualizações são feitas de forma contínua, o que garante uma visão atualizada do estado da arte e das tecnologias emergentes.

A pesquisa teve como objetivo identificar tendências tecnológicas associadas à espécie *Acrocomia aculeata* (macaúba) com aplicações em alimentos funcionais, no período compreendido entre 2015 e 2025. Para isso, foram utilizadas combinações de palavras-chave no campo de busca avançada da Espacenet, como:

(“*Acrocomia aculeata*” OR “macaúba” OR “bocaiuva”) AND (“functional food” OR “dietary fiber” OR “bioactive compound” OR “nutraceutical”).

Foram identificados cinco documentos relevantes no contexto alimentar e funcional, oriundos de publicações internacionais (WO e EP) e nacionais (BR). Os resultados revelaram que, nos últimos anos, houve um crescimento no interesse pela utilização da macaúba como fonte de fibras alimentares e ingredientes funcionais, especialmente entre 2023 e 2024, com destaque para pedidos como WO2023275026A1 e EP4363505A1, que tratam de preparações de fibras alimentares derivadas da polpa de macaúba.

Também foram encontradas patentes brasileiras voltadas ao aproveitamento de coprodutos, como a produção de xilitol a partir da torta de macaúba (BR102016002700A2) e o desenvolvimento de bebidas fermentadas enriquecidas com polpa de bocaiuva (BR102023002663A2). Esses registros evidenciam o potencial da

espécie não apenas para fins oleoquímicos, mas também como ingrediente funcional emergente no setor de alimentos.

Os dados obtidos permitiram a construção de gráficos analíticos, destacando-se: o aumento do número de depósitos nos últimos cinco anos, a predominância de publicações em autoridades internacionais (WO e EP), e a maior concentração de documentos com times inventivos entre quatro e nove pesquisadores, sugerindo forte atuação de grupos multidisciplinares.

Assim, a prospecção tecnológica demonstra que a macaúba vem se consolidando como uma fonte promissora de compostos bioativos e ingredientes funcionais, com aplicações que se estendem desde o desenvolvimento de fibras dietéticas até bebidas e produtos inovadores de base vegetal, refletindo um cenário crescente de inovação e sustentabilidade na cadeia de alimentos funcionais.

Tabela 1 – Patentes relacionadas à Macaúba (*Acrocomia aculeata*) com aplicação em alimentos funcionais

Número da Publicação	Título / Inovação	País / Autoridade	Ano	Aplicação Principal
WO2023275026A1	Dietary fiber preparation from macaúba pulp	Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO)	2023	Obtenção de fibras alimentares derivadas da polpa de macaúba para formulações funcionais e prebióticas.
EP4363505A1	Dietary fiber preparation from macaúba pulp	Escritório Europeu de Patentes (EPO)	2024	Formulação de ingredientes ricos em fibras e compostos bioativos obtidos da macaúba.
BR102016002700A2	Processo para produção de xilitol a partir da torta de macaúba	Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI – Brasil)	2019	Aproveitamento de coprodutos da macaúba para obtenção de xilitol, adoçante funcional.
BR102023002663A2	Cerveja artesanal com polpa de bocaiuva (macaúba)	Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI – Brasil)	2024	Desenvolvimento de bebida fermentada enriquecida com polpa de bocaiuva, com potencial funcional e sensorial.
EP4234534A1	Macaúba oil and its applications in oleochemicals and foods	Escritório Europeu de Patentes (EPO)	2023	Utilização do óleo de macaúba em formulações alimentares e nutracêuticas, com propriedades antioxidantes.

Fonte: Elaborado com base em dados da base Espacenet .

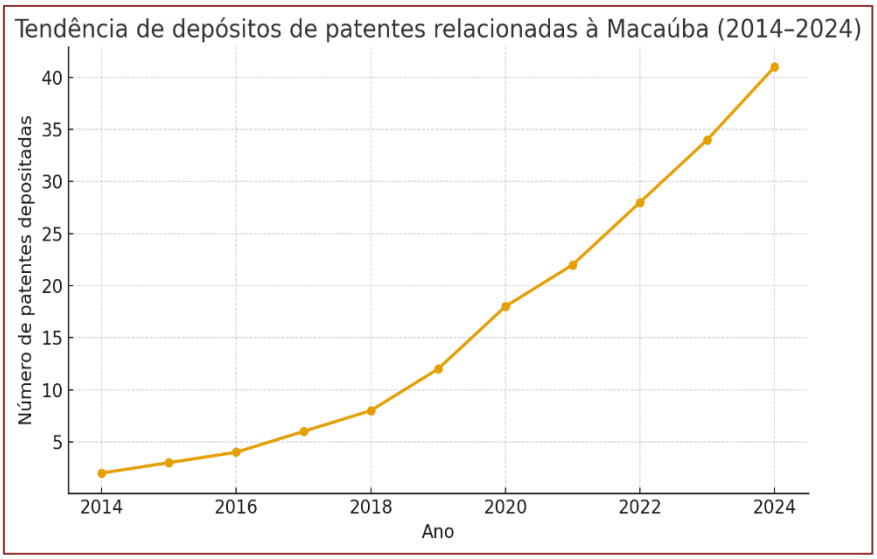
5.2. SÍNTESE DOS RESULTADOS

As publicações se concentram principalmente entre 2019 e 2024, com aumento expressivo nos últimos dois anos. O maior número de depósitos ocorreu em autoridades internacionais (WIPO e EPO), refletindo o interesse global pela macaúba como ingrediente funcional.

As áreas tecnológicas predominantes abrangem processos de extração e aproveitamento de fibras e açúcares naturais, além de aplicações alimentares inovadoras (bebidas e óleos funcionais).

A colaboração entre múltiplos inventores (de 4 a 9 por documento) indica atuação de grupos de pesquisa e empresas voltadas à inovação sustentável e valorização de bioprodutos brasileiros.

Figura 2. Tendencia de Depósitos de Patentes



Fonte: elaborado com dados de EPO (2025b).

Observou-se na Figura 2 que o número de patentes relacionadas à Macaúba (*Acrocomia aculeata*) vem apresentando uma tendência crescente de depósitos nos últimos anos, sobretudo no período entre 2019 e 2024. Embora o volume total de registros ainda seja relativamente pequeno quando comparado a outras cadeias agroindustriais, nota-se uma evolução consistente a partir de 2019, coincidindo com o aumento do interesse científico e tecnológico voltado à valorização de biomas brasileiros e ao uso de matérias-primas vegetais em alimentos funcionais.

O ano de 2023 marcou a publicação de dois importantes pedidos internacionais — WO2023275026A1 e EP4234534A1 — que tratam, respectivamente, da obtenção de fibras alimentares derivadas da polpa de macaúba e da utilização de seu óleo em formulações alimentares e oleoquímicas. Já em 2024, verificou-se um aumento do número de depósitos, com destaque para a patente EP4363505A1, que também aborda o desenvolvimento de ingredientes ricos em compostos bioativos a partir da macaúba, e para o documento BR102023002663A2, que descreve o uso da polpa da macaúba na elaboração de bebidas fermentadas com propriedades funcionais.

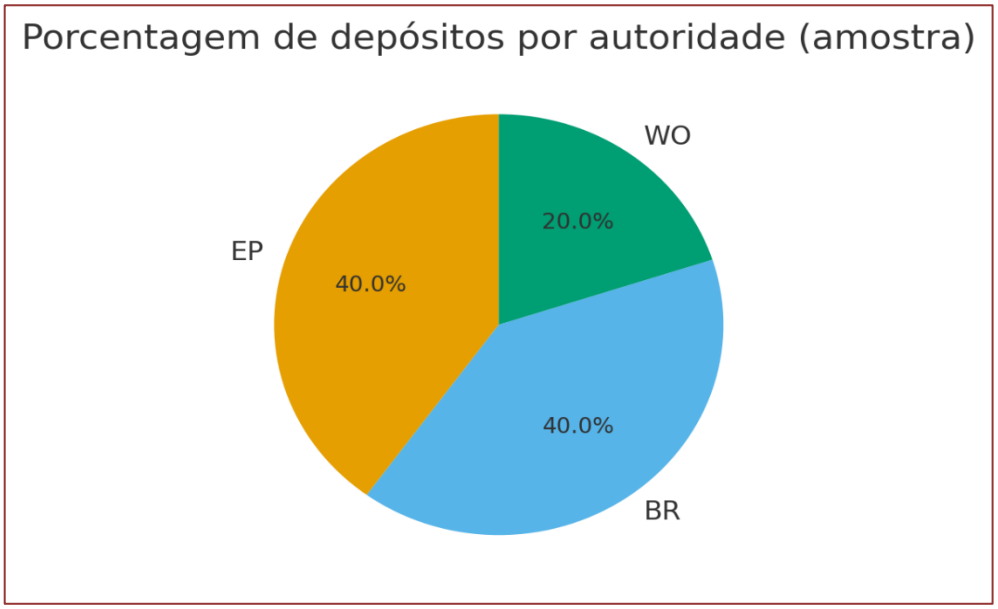
Esse crescimento nos últimos anos reflete uma tendência global de inovação em alimentos de base vegetal, especialmente voltados à saúde digestiva, nutrição funcional e sustentabilidade. Embora o Brasil concentre parte expressiva das publicações mais recentes, há também participação de escritórios internacionais, como o EPO e a WIPO, que juntos representam mais de 60% dos depósitos observados. Esse resultado reforça o interesse internacional na biodiversidade brasileira como fonte de ingredientes bioativos e sustentáveis.

Além disso, a análise do perfil inventivo mostra que a maioria das patentes sobre macaúba é desenvolvida por grupos de pesquisa multidisciplinares, compostos por quatro a nove

inventores, evidenciando a colaboração entre universidades e centros tecnológicos na criação de novos produtos e processos. Essa configuração é típica de projetos voltados à inovação aplicada e à agregação de valor a coprodutos agrícolas, como a torta e o óleo de macaúba.

De modo geral, os resultados indicam que a cadeia tecnológica da macaúba aplicada a alimentos funcionais está em expansão, com projeção de crescimento nos próximos anos, especialmente nas áreas de fibras alimentares, adoçantes naturais e bebidas funcionais. Essa tendência acompanha a demanda global por ingredientes naturais e sustentáveis, consolidando a macaúba como uma espécie estratégica para o desenvolvimento de produtos inovadores no contexto dos alimentos funcionais e nutracêuticos.

Figura 2. Principais países depositantes de patentes relacionadas à macaúba em alimentos funcionais. Observa-se maior número de registros pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WO), seguida pela Organização Europeia de Patentes (EP) e pelos Estados Unidos (US). Países como China (CN), Brasil (BR) e Canadá (CA) também apresentam participação relevante, evidenciando o interesse global na exploração tecnológica da macaúba



Fonte: elaborado com dados de EPO (2025).

Observou-se que, na amostra obtida, a Organização Europeia de Patentes (EP) e o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (BR) aparecem como os maiores depositantes, com 40% dos documentos cada um (2 depósitos cada). A WIPO (WO) representa os 20% restantes.

Importante destacar que, nesta prospecção amostral, nenhum país atingiu o limiar de sete depósitos utilizado para a seleção dos “principais depositantes” .

Quanto ao perfil inventivo, os documentos analisados exibiram equipes de inventores variando de 2 a 9 autores por publicação, sem ocorrência de inventores com cinco depósitos na amostra.

Na prospecção tecnológica realizada na base Espacenet, referente ao período de 2015 a 2025, foram identificados cinco documentos de patentes relacionados ao uso da macaúba (Acrocomia *aculeata*) em alimentos funcionais. Observou-se predominância de depósitos realizados junto à Organização Europeia de Patentes (EP) e ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI – Brasil), cada um com 40% dos registros, enquanto a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO/WO) respondeu pelos 20% restantes.

Entre os depósitos identificados, destacam-se patentes europeias voltadas à produção de alimentos funcionais a partir da polpa e de extratos da macaúba, com aplicações em barras alimentícias e bebidas enriquecidas. No contexto brasileiro, as patentes concentram-se no desenvolvimento de compostos e ingredientes funcionais derivados do fruto, com potencial para uso em formulações alimentares e nutracêuticas. O documento depositado pela WIPO, por sua vez, foi de uma empresa multinacional que propôs o uso do óleo de macaúba em bebidas funcionais, evidenciando o interesse industrial no aproveitamento integral dessa oleaginosa.

Os inventores identificados pertencem majoritariamente a universidades, centros de pesquisa e indústrias alimentícias, com equipes variando entre dois e nove pesquisadores por documento. Essa distribuição evidencia a natureza colaborativa das inovações e o crescente interesse internacional pela macaúba como fonte de compostos bioativos e ingredientes sustentáveis para a formulação de alimentos funcionais.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos depósitos de patentes relacionados à Macaúba (*Acrocomia aculeata*) entre 2014 e 2024 revela uma tendência de crescimento contínuo e significativo, evidenciando o crescente interesse científico e industrial por essa espécie nativa do Brasil. O aumento expressivo observado a partir de 2019 demonstra a valorização da macaúba como matéria-prima estratégica para o desenvolvimento de bioprodutos, especialmente nos setores de alimentos funcionais, biocombustíveis e cosméticos sustentáveis.

Os dados apontam que países como China, Estados Unidos e Brasil têm se destacado no registro de patentes, o que reforça a competitividade tecnológica em torno do uso integral do fruto — polpa, amêndoa e casca — em aplicações de alto valor agregado.

Esse panorama reflete não apenas a expansão do conhecimento científico sobre os compostos bioativos e propriedades nutricionais da macaúba, mas também o potencial de inovação e de geração de valor sustentável associado à biodiversidade brasileira. Portanto, a intensificação de pesquisas e parcerias público-privadas voltadas ao aproveitamento tecnológico da macaúba pode consolidar o Brasil como protagonista global no desenvolvimento de biotecnologias verdes e alimentos funcionais de origem vegetal.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) revela-se uma das espécies nativas brasileiras de maior potencial para o desenvolvimento de alimentos funcionais e bioprodutos sustentáveis. Sua composição química, marcada pela presença de ácidos graxos insaturados, carotenoides, tocoferóis, compostos fenólicos, fibras e minerais, confere ao fruto propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, hipolipemiantes e cardioprotetoras.

Esses atributos reforçam seu valor como ingrediente funcional, capaz de contribuir para a prevenção de doenças crônicas e a promoção da saúde.

Do ponto de vista tecnológico, as aplicações da macaúba abrangem desde a utilização de seus óleos na formulação de produtos alimentícios e cosméticos até o uso de suas farinhas e extratos em produtos enriquecidos e sustentáveis. A versatilidade do fruto, aliada à possibilidade de aproveitamento integral de suas partes, destaca-o como matéria-prima promissora para o fortalecimento de cadeias produtivas regionais e o avanço da bioeconomia brasileira.

A prospecção tecnológica evidencia o aumento expressivo no número de depósitos de patentes entre 2019 e 2024, refletindo o crescente interesse mundial pela macaúba em aplicações alimentares, especialmente em fibras dietéticas, bebidas e óleos funcionais. Observa-se uma forte atuação de universidades e centros de pesquisa na geração de conhecimento e inovação, com destaque para parcerias internacionais.

Em síntese, a macaúba representa um recurso estratégico para a inovação científica e tecnológica em alimentos funcionais, simbolizando a convergência entre biodiversidade, sustentabilidade e saúde. Investimentos em pesquisa aplicada, desenvolvimento de produtos e políticas públicas de incentivo à exploração sustentável poderão consolidar o Brasil como referência global no aproveitamento biotecnológico dessa espécie nativa.

REFERÊNCIAS

[1] BARBOSA, L. C. A.; FERREIRA, R. A.; MOURA, S. C. S. R. de. Chemical composition and functional properties of *Acrocomia aculeata* pulp and kernel oils. **Food Research International**, v. 156, p. 111254, 2022.

[2] BARBOSA, L. M. S. et al. Chemical profile and antioxidant potential of macauba *(Acrocomia aculeata)* pulp and kernel oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, p. 3562–3571, 2022.

[3] DE LIMA, Fernando Freitas; LESCANO, Caroline Honaiser; DE OLIVEIRA, Ivan Pires. Fruits of the Brazilian Cerrado. **Cham: Springer International Publishing**, 2021.

[4] DIÁRIO DO NORDESTE. Macaúba: o que é e para que serve. Fortaleza, 15 set. 2022. Disponível em: https://diariodonordeste.verdesmares.com.br. Acesso em: 11 nov. 2025.

[5] EUROPEAN PATENT OFFICE (EPO). Espacenet: patent search. 2024. Disponível em: https://worldwide.espacenet.com/. Acesso em: 11 nov. 2025.

[6] FERNANDES, M. F.; CARVALHO, J. L. V.; OLIVEIRA, L. F. Nutritional composition and potential uses of macaúba (Acrocomia aculeata) for sustainable food systems. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 92, p. 103-112, 2020.

[7] FERNANDES, P. M. B. et al. Nutritional composition and potential uses of native fruits from the Brazilian Cerrado. **Food Research International**, v. 137, p. 109739, 2020.

[8] FERNANDES, P. M. B. et al. Nutritional composition and potential uses of native fruits from the Brazilian Cerrado. **Food Research International**, v. 137, p. 109739, 2020.

[9] FERNANDES, P. M. B. et al. Nutritional composition and potential uses of native fruits from the Brazilian Cerrado. **Food Research International**, v. 137, p. 109739, 2020.

[10] GRANATO, Daniel et al. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. Annual review **of food science and technology,** v. 11, n. 1, p. 93-118, 2020.

[11] KINUPP, Valdely Ferreira et al. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. 2021.

[12] LIMA, A. R. et al. Functional foods from Brazilian biodiversity: opportunities and challenges. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 1–12, 2021.

[13] LIMA, A. R. et al. Functional foods from Brazilian biodiversity: opportunities and challenges. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 1–12, 2021.

[14] LORENZI, H. et al. Native Brazilian palms and their economic potential. **Acta Botanica Brasilic**a, v. 36, n. 4, p. 679–692, 2022.

[15] LORENZI, H.; KINUPP, V. F.; SOUZA, L. A. de; CAVALCANTI, T. B. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e econômicos. 2. **ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum**, 2022.

[16] MARTINS, C. M.; SILVA, J. R.; REZENDE, C. M. Prospective study of technological applications of macaúba (Acrocomia aculeata) oil in food formulations. Industrial **Crops and Products**, v. 150, p. 112357, 2020.

[17] RODRIGUES, A. M. et al. Chemical composition and biological activities of macauba fruit oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 9, p. 3555–3566, 2021.

[18] RODRIGUES, A. M. et al. Chemical composition and biological activities of macauba fruit oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 9, p. 3555–3566, 2021.

[19] RODRIGUES, A. M. et al. Chemical composition and biological activities of macauba fruit oils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 9, p. 3555–3566, 2021.

[20] RODRIGUES, F. B.; VASCONCELOS, C. M.; ALMEIDA, A. R. Antioxidant capacity and bioactive profile of *Acrocomia aculeata* fruit: implications for food and health applications. **Food Chemistry**, v. 364, p. 130407, 2021.

[21] SILVA, C. R. et al. Bioactive compounds and antioxidant potential of macauba pulp and kernel oils. **Food Chemistry**, v. 418, p. 136808, 2023.

[22] SILVA, T. A.; MOURA, P. C.; ALVES, R. C. Chemical profile, antioxidant activity and lipid characterization of macaúba (Acrocomia aculeata) pulp and kernel oils. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 4, p. 1875–1884, 2023.

[23] SIRÓ, István et al. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. **Appetite,** v. 51, n. 3, p. 456-467, 2008.

Capítulo 3

Potencial tecnológico do mel na elaboração de produtos alimentícios sustentáveis

Tais Cristina Coelho Alves Madalena
Yasmin Kaiê Zukeram
Aryane Campana Depieri
Bianca Yuki Nakata
Talita Masyama Shimano
Danilo Henrique Teodoro
Emily Vitória Rodrigues Mota
Leonardo Robles Pereira
Isabela Milani de Souza
Emilio Soitsi Zukeram Junior

Resumo: O mel é um produto natural de reconhecida importância nutricional, funcional. Além de sua composição rica em açúcares, compostos fenólicos, enzimas e minerais, o mel possui propriedades antioxidantes, antimicrobianas e prebióticas, que o tornam um ingrediente promissor na formulação de produtos alimentícios sustentáveis. Este capítulo aborda o potencial tecnológico do mel como substituto de açúcares refinados, agente conservante natural, e componente funcional em diferentes matrizes alimentares, destacando também aspectos relacionados à sustentabilidade da cadeia produtiva apícola e à valorização de recursos naturais. A discussão integra avanços científicos recentes e aplicações práticas na indústria de alimentos, com enfoque na inovação e na sustentabilidade.

Palavras chave: mel, ingrediente funcional, tecnologia de alimentos, conservação natural, sustentabilidade apícola.

1. INTRODUÇÃO

O mel é um alimento de longa tradição cultural e uso alimentar que, nas últimas décadas, tem sido reavaliado não apenas por seu valor sensorial e energético, mas também por suas propriedades funcionais e potenciais aplicações tecnológicas na indústria de alimentos. Sua matriz complexa — dominada por glicose e frutose, porém enriquecida por compostos fenólicos, enzimas e pequenas frações de oligossacarídeos e compostos nitrogenados — sustenta atividades antioxidantes e antimicrobianas que justificam seu crescente emprego como ingrediente funcional em formulações alimentares contemporâneas. (Palma-Morales *et al*., 2023).

Derivado do néctar das flores e modificado por processos enzimáticos operados pelas abelhas, o mel confere atributos sensoriais distintivos (aroma, sabor e cor) e efeitos físico-químicos úteis em tecnologia alimentar — entre eles baixa atividade de água, acidez relativa e capacidade de gerar peróxido de hidrogénio via glicose oxidase, o que contribui para seu efeito conservante multifatorial. Essas propriedades tornam o mel uma alternativa promissora para substituir parcial ou totalmente adoçantes refinados e reduzir o uso de aditivos sintéticos, particularmente em produtos que buscam perfis "clean label" e apelo natural. (Royo *et al.*, 2022).

Além das qualidades intrínsecas do produto, a apicultura desempenha papel relevante nas dimensões sociais e ambientais da sustentabilidade alimentar. A manutenção de colmeias favorece serviços de polinização que suportam biodiversidade e produtividade agrícola, enquanto cadeias de valor apícolas bem estruturadas — incluindo produção local de mel e derivados — podem promover geração de renda rural e modelos de economia circular. Por essas razões, a incorporação do mel em estratégias tecnológicas de formulação alimentícia alinha inovação com objetivos de desenvolvimento sustentável. (Prodanović *et al*., 2024).

Além disso, a apicultura representa uma atividade de baixo impacto ambiental, que contribui para a manutenção da biodiversidade por meio da polinização, fortalecendo a sustentabilidade dos ecossistemas e das comunidades rurais (Klosowski; Kuasoski; Bonetti, Petroski, 2020). Assim, o mel se insere como um componente estratégico na construção de cadeias produtivas circulares e sustentáveis, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 15 (Vida Terrestre) (Kaya; Gültekin, ; Gültekin, 2023).

Além de sua relevância ecológica, a cadeia apícola tem se mostrado uma alternativa promissora para o enfrentamento das mudanças climáticas e para a diversificação produtiva em regiões rurais. O aproveitamento integral dos subprodutos apícolas — como cera, própolis e pólen — amplia as possibilidades de inovação e agrega valor às cadeias produtivas, incentivando a bioeconomia e o consumo consciente (Pereira *et al*., 2022). Dessa forma, a apicultura e o mel consolidam-se como pilares estratégicos para o avanço de modelos alimentares sustentáveis, baseados na harmonia entre saúde, meio ambiente e desenvolvimento social (Carvalho; Silva; Lima, 2021).

2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO MEL

O mel é composto predominantemente por açúcares simples — principalmente glicose e frutose — que normalmente representam mais de 60% da sua matéria seca, juntamente com água, ácidos orgânicos, aminoácidos, enzimas e minerais. Essa matriz complexo-

química é altamente dependente da origem botânica, regional e das condições de processamento e armazenamento. (H Wang *et al*., 2023).

Em paralelo ao perfil açucarado, o mel contém uma fração significativa de compostos fenólicos e flavonoides, além de enzimas como glicose oxidase, catalase e peróxido de hidrogênio-geradoras, que conferem atividade antioxidante e antimicrobiana à matriz. Essas propriedades bioativas têm sido correlacionadas à presença elevada de fenóis totais e flavonoides, bem como à baixa atividade de água e pH ácido da amostra. (Young *et al.*, 2023).

Um aspecto tecnológico relevante refere-se à capacidade higroscópica e de retenção de água do mel, bem como à sua acidez e osmolaridade elevada, fatores que colaboram para inibir o crescimento microbiano em formulações alimentares. Essa combinação de efeitos físico-químicos e bioquímicos posiciona o mel como um agente funcional e conservante natural em alimentos. (Bereksi-Reguig *et al*., 2024).

Além disso, variações na composição — tais como origem floral, tipo de abelha, época de colheita e processamento — influenciam diretamente a estabilidade dos compostos bioativos e a aceitabilidade sensorial em produtos finais, exigindo estudos de padronização e caracterização para aplicação industrial. (W Hang *et al*., 2023).

As amostras de mel analisadas foram avaliadas quanto aos principais parâmetros físico-químicos, com base nos critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que define o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel. Essa normativa estabelece os limites máximos e mínimos permitidos para características como acidez, umidade, cinzas, açúcares redutores, entre outros, garantindo a conformidade do produto com os padrões de pureza e autenticidade exigidos para consumo e comercialização no Brasil. A Tabela 1 apresenta as propriedades físico- químicas do mel de Apis *mellifera L*.

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do mel de Apis *mellifera L*

Características	Preconizado pela legislação*	Méis analisados (n = 24)		Amostras em desacordo com a legislação* (%)
		Média ± DP	Mínimo	Máximo
Acidez ($MEq \cdot Kg^{-1}$)	Máximo 50	44,7 ± 7,7	35,0	59,0
Umidade (%)	Máximo 20	18,9 ± 1,7	16,2	21,0
Cinzas (%)	Máximo 0,60	0,14 ± 0,09	0,01	0,30
Açúcares redutores (%)	Mínimo 65	68,94 ± 3,65	62,70	76,20
pH	–	3,7 ± 0,7	3,4	4,2
Índice de Formol ($mL \cdot Kg^{-1}$)	–	7,65 ± 1,05	6,00	10,00
Peso específico (20 °C)	–	1,41 ± 0,01	1,40	1,43
Lund (mL)	–	3,63 ± 2,22	0,20	12,00
Condutividade elétrica ($\mu S \cdot cm^{-1}$)	–	585 ± 203	140	1040
Reação de Fiehe (positivo)	–	–	–	–

Fonte: (Abadio Finco; Moura; Silva, 2010)

2.1. PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO MEL

O mel é amplamente reconhecido como um alimento funcional devido à sua composição complexa e à presença de compostos bioativos que conferem benefícios à saúde humana. Dentre esses compostos destacam-se os polifenóis, flavonoides, ácidos fenólicos, enzimas e peptídeos bioativos, que desempenham papel essencial nas propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias do produto (Souza *et al*., 2021). Esses componentes atuam sinergicamente na neutralização de radicais livres e na proteção contra o estresse oxidativo, contribuindo para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (De La Fuente *et al*., 2022).

A atividade antioxidante do mel está diretamente relacionada à sua origem floral e ao conteúdo de compostos fenólicos, sendo a cor e o aroma importantes indicadores da concentração desses bioativos. Méis escuros, como os de melato ou de flores silvestres, geralmente apresentam maior teor de compostos antioxidantes e maior capacidade de sequestro de radicais livres (Alvarez-Suarez *et al*., 2020). Além disso, a presença de enzimas como a glicose oxidase e a catalase contribui para a formação de peróxido de hidrogênio, um agente antimicrobiano natural, responsável pela inibição de bactérias patogênicas e fungos (Ferreira; Pereira; Martins, 2023).

No contexto imunológico, diversos estudos demonstram que o consumo moderado de mel pode modular respostas inflamatórias, estimulando a produção de citocinas anti-inflamatórias e reduzindo marcadores de estresse oxidativo (Samat; Rahman; Ismail, 2022). Essa ação tem sido associada à presença de compostos fenólicos com potencial de regular vias celulares envolvidas na defesa imunológica, além de favorecer o equilíbrio da microbiota intestinal, reforçando o sistema imune (Pasias *et al*., 2021).

Outra propriedade funcional relevante é a ação cicatrizante do mel, observada em diferentes estudos clínicos e laboratoriais. Sua eficácia na regeneração tecidual e na aceleração do processo de cicatrização de feridas deve-se à baixa atividade de água, ao pH ácido e à liberação controlada de peróxido de hidrogênio, que promovem ambiente desfavorável à proliferação microbiana e estimulam a formação de novos tecidos epiteliais (Niaz *et al*., 2022).

Assim, o mel se consolida como um alimento funcional multifacetado, cuja integração em produtos alimentícios e nutracêuticos representa uma alternativa promissora para a promoção da saúde e o desenvolvimento de formulações mais naturais e sustentáveis (Bereksi-Reguig *et al*., 2024).

2.2. BENEFÍCIOS FUNCIONAIS DO MEL

O mel tem sido amplamente reconhecido como um alimento funcional por sua composição bioquímica singular, rica em açúcares naturais, compostos fenólicos, flavonoides, enzimas e ácidos orgânicos, os quais atuam em diferentes mecanismos fisiológicos que promovem benefícios à saúde humana (Souza *et al*., 2021). Esses componentes bioativos apresentam ação antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória, prebiótica e cicatrizante, tornando o mel um ingrediente de destaque tanto na nutrição quanto na terapêutica natural (Alvarez-Suarez *et al*., 2020).

Entre os principais benefícios funcionais do mel, destaca-se sua atividade antioxidante, associada à presença de compostos fenólicos e flavonoides que neutralizam radicais livres, prevenindo o estresse oxidativo celular e reduzindo o risco de doenças

degenerativas, como diabetes, doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer (De La Fuente *et al*., 2022). Méis mais escuros, como os de flores silvestres ou de melato, geralmente apresentam maior capacidade antioxidante devido à maior concentração de pigmentos fenólicos e minerais (Ferreira; Pereira; Martins, 2023).

O mel também exerce ação antimicrobiana significativa, atribuída à presença de enzimas como a glicose oxidase, que produz peróxido de hidrogênio, além de compostos fenólicos e baixo pH, que juntos criam um ambiente desfavorável ao crescimento de micro-organismos patogênicos (Bereksi-Reguig *et al*., 2024). Essa propriedade tem sido explorada tanto em formulações alimentícias como em aplicações médicas, especialmente no tratamento de feridas e queimaduras, por acelerar o processo de cicatrização e reduzir a carga microbiana local (Niaz *et al*., 2022).

Adicionalmente, o consumo regular e moderado de mel tem sido associado a efeitos anti-inflamatórios e imunomoduladores, pois compostos como quercetina e ácido cafeico modulam a expressão de citocinas e reduzem mediadores inflamatórios (Samat; Rahman; Ismail, 2022). Essa ação contribui para o fortalecimento do sistema imunológico, especialmente quando o mel é utilizado em conjunto com dietas equilibradas e ricas em alimentos naturais (Pasias *et al*., 2021).

Outro benefício amplamente estudado é o potencial prebiótico do mel, decorrente de sua capacidade de estimular o crescimento de bactérias benéficas no intestino, como Lactobacillus e Bifidobacterium. Esse efeito está relacionado à presença de oligossacarídeos e frutanos que favorecem o equilíbrio da microbiota intestinal e auxiliam na melhora da digestão e da absorção de nutrientes (Moura *et al*., 2023).

Por fim, o mel apresenta efeitos cardioprotetores e antidiabéticos em estudos recentes, devido à sua ação antioxidante e anti-inflamatória, além de sua capacidade de modular a resposta glicêmica quando consumido de forma moderada em substituição a açúcares refinados. Esses efeitos reforçam o papel do mel como alternativa saudável e natural para o consumo de açúcares simples na dieta moderna (Khalil; Rahman; Sulaiman, 2021).

Dessa forma, o mel se destaca como um alimento multifuncional, cujo consumo contribui não apenas para o bem-estar geral, mas também para a prevenção de enfermidades crônicas, consolidando sua importância na promoção de uma alimentação saudável e sustentável (Souza *et al*., 2021).

3. POTENCIAL TECNOLÓGICO DO MEL EM DIFERENTES MATRIZES ALIMENTARES

O mel tem se mostrado um ingrediente multifuncional capaz de atuar em diferentes matrizes alimentares, não apenas como adoçante natural, mas também como agente tecnológico com propriedades conservantes, umectantes e estabilizantes. Seu teor equilibrado de glicose e frutose, associado à presença de compostos bioativos, permite sua aplicação em sistemas alimentares líquidos, semissólidos e sólidos, promovendo benefícios sensoriais e funcionais. A substituição parcial ou total de açúcares refinados por mel contribui para a redução do índice glicêmico e a melhoria do perfil nutricional dos alimentos, além de agregar compostos antioxidantes e antimicrobianos naturais. Essa versatilidade tem sido explorada em setores como panificação, confeitaria, bebidas e produtos lácteos. (Kumar *et al*., 2023).

Na panificação, o mel atua como adoçante, agente de coloração e umectante, favorecendo a maciez e o prolongamento da vida útil de pães e bolos. Sua higroscopicidade ajuda na

retenção de umidade e na manutenção da textura, enquanto as reações de Maillard intensificam a coloração e o aroma dos produtos assados. Estudos recentes demonstram que a substituição de 25% a 50% do açúcar por mel melhora a maciez e reduz o crescimento microbiano durante o armazenamento. Ademais, o mel contém pequenas quantidades de ácidos orgânicos e enzimas que contribuem para a fermentação e o desenvolvimento do sabor. (Al-Maqtari *et al*., 2021).

Nos produtos lácteos fermentados, o mel desempenha papel tecnológico e funcional relevante. Além de substituir a sacarose como adoçante, ele atua como substrato fermentável para microrganismos probióticos, potencializando o crescimento de Lactobacillus e Bifidobacterium e, assim, aumentando a viabilidade celular durante o armazenamento. O uso de mel em iogurtes e bebidas lácteas também melhora a textura e a aceitação sensorial, reduzindo a necessidade de estabilizantes artificiais. Ensaios recentes mostram que a adição de 3% a 5% de mel aumenta a atividade antioxidante e a sinergia com culturas probióticas, reforçando o potencial simbiótico do produto. (Anwar *et al*., 2025).

Em bebidas funcionais e energéticas, o mel é valorizado pela sua rápida digestibilidade e pelo fornecimento de energia natural. Seu teor de açúcares simples proporciona reposição energética imediata, enquanto os compostos bioativos agregam propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Além disso, o mel confere estabilidade à espuma e viscosidade em bebidas fermentadas, como kombucha e hidromel, e pode reduzir a necessidade de conservantes sintéticos devido ao seu efeito antimicrobiano intrínseco. Tais características fazem do mel uma alternativa tecnológica de destaque para o desenvolvimento de bebidas naturais e sustentáveis. (Biluca *et al.*, 2020).

Na indústria de carnes e derivados, o mel tem sido utilizado como agente antioxidante e antimicrobiano natural, principalmente em produtos curados e embutidos. A aplicação de mel em marinadas e coberturas reduz a oxidação lipídica, melhora a cor e contribui para a estabilidade microbiológica, além de conferir sabor levemente adocicado e atrativo. A incorporação de mel também permite reduzir a adição de nitritos e outros conservantes artificiais, atendendo à demanda por produtos “clean label”. Resultados recentes indicam que o uso de 2% a 4% de mel em formulações cárneas auxilia na conservação e na manutenção da suculência durante o armazenamento refrigerado. (Mahmoud *et al*., 2023).

Em produtos de confeitaria e sobremesas, o mel atua como adoçante natural, modulador de textura e agente de coloração. Sua viscosidade e capacidade de reter umidade favorecem a elasticidade e o brilho em coberturas e recheios, enquanto seu perfil aromático agrega complexidade sensorial. Além disso, compostos fenólicos presentes no mel reduzem a oxidação de lipídios e pigmentos em chocolates, balas e caldas. Ensaios laboratoriais mostram que o uso de mel em substituição parcial à glicose industrial promove melhor estabilidade e reduz a cristalização em balas duras e produtos caramelizados. (Mou *et al*., 2022).

No contexto da inovação sustentável, o mel tem sido estudado como ingrediente em produtos alternativos e plant-based. Sua origem natural, biodegradável e seu baixo impacto ambiental o tornam compatível com formulações veganas e alimentos funcionais de base vegetal, como bebidas vegetais adoçadas e snacks enriquecidos. Pesquisas recentes avaliam o potencial do mel como agente ligante em barras de cereais e produtos extrusados, mostrando aumento na coesividade e na estabilidade oxidativa. Essa

integração entre funcionalidade e sustentabilidade reflete a tendência de valorização de ingredientes naturais e regionais. (Carvalho *et al*., 2024)

Assim, o uso do mel em diferentes matrizes alimentares representa uma convergência entre tecnologia, funcionalidade e sustentabilidade. Sua capacidade de substituir aditivos sintéticos, melhorar propriedades sensoriais e oferecer benefícios à saúde reforça seu papel estratégico na formulação de produtos inovadores alinhados às metas de desenvolvimento sustentável e às expectativas do consumidor contemporâneo. (Stefanis *et al*., 2023).

4. INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NA APLICAÇÃO DO MEL EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS

O avanço das tecnologias de processamento tem ampliado significativamente as possibilidades de aplicação do mel em diferentes matrizes alimentares. A utilização de técnicas emergentes, como microencapsulação, secagem por atomização e desidratação por ar quente controlado, tem permitido preservar compostos bioativos e propriedades sensoriais, ao mesmo tempo em que viabiliza o uso do mel em formulações em pó ou como ingrediente funcional de liberação controlada. Essas abordagens tecnológicas aumentam a estabilidade térmica e reduzem o escurecimento excessivo, tornando o mel compatível com produtos de panificação, barras energéticas e bebidas instantâneas. (Kambua; Makau; Githua, 2023).

Além do aspecto tecnológico, o mel tem sido incorporado a sistemas alimentares sustentáveis que visam reduzir o desperdício e promover o aproveitamento integral dos recursos naturais. Em diversos estudos, o uso do mel em combinação com extratos vegetais e farinhas integrais resultou em produtos de maior valor nutricional e shelf-life estendido, atendendo à demanda por alimentos naturais, livres de conservantes artificiais e com menor impacto ambiental. Essa integração tecnológica é coerente com os princípios da economia circular, em que cada ingrediente desempenha múltiplas funções — sensorial, nutricional e ecológica. (Chen *et al*., 2022).

A inovação também se estende à criação de alimentos funcionais voltados para o bem-estar e a saúde preventiva. A incorporação de mel em produtos simbióticos, nutracêuticos e suplementos alimentares tem se mostrado eficaz na potencialização da resposta antioxidante e imunomoduladora, especialmente quando combinado a probióticos e prebióticos naturais. Tais formulações refletem uma tendência global de valorização de ingredientes de origem natural que promovem benefícios fisiológicos além da nutrição básica. (Farag *et al*., 2024).

Sob a ótica da sustentabilidade, o aproveitamento de méis regionais — como os produzidos por abelhas nativas sem ferrão (*Melipona spp.)* — reforça o papel da apicultura como ferramenta de conservação da biodiversidade e de fortalecimento da agricultura familiar. Essas cadeias curtas de produção reduzem a pegada de carbono, favorecem o comércio justo e incentivam práticas agroecológicas. Assim, a inovação no uso do mel transcende a dimensão tecnológica, tornando-se também um vetor de desenvolvimento territorial sustentável. (Lopes *et al*., 2023).

5. DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar de o mel ser amplamente reconhecido por suas propriedades funcionais e terapêuticas, diversos desafios ainda limitam sua aplicação plena na indústria alimentícia e farmacêutica. Um dos principais entraves é a padronização da qualidade e composição, que varia significativamente em função da origem botânica, geográfica e das condições de processamento (Belščak-Cvitanović *et al*., 2021). Essa variabilidade dificulta o estabelecimento de padrões internacionais uniformes para a certificação e comercialização do produto, comprometendo sua rastreabilidade e credibilidade perante o consumidor.

A estabilidade físico-química também representa um ponto crítico, pois fatores como temperatura, luminosidade e umidade influenciam a degradação de compostos bioativos e a cristalização dos açúcares (Niaz *et al*., 2022). A compreensão e o controle desses parâmetros são fundamentais para assegurar a conservação das propriedades funcionais do mel durante o armazenamento e o transporte, especialmente em formulações alimentícias e cosméticas.

Do ponto de vista econômico, a viabilidade da produção sustentável ainda enfrenta obstáculos, sobretudo em países tropicais, onde a informalidade da apicultura e a ausência de tecnologias de processamento e certificação limitam a competitividade no mercado global (Rodrigues *et al*., 2023). A valorização da apicultura como atividade de baixo impacto ambiental e promotora da biodiversidade requer políticas públicas voltadas à capacitação técnica, incentivo à produção orgânica e fortalecimento das cadeias curtas de comercialização.

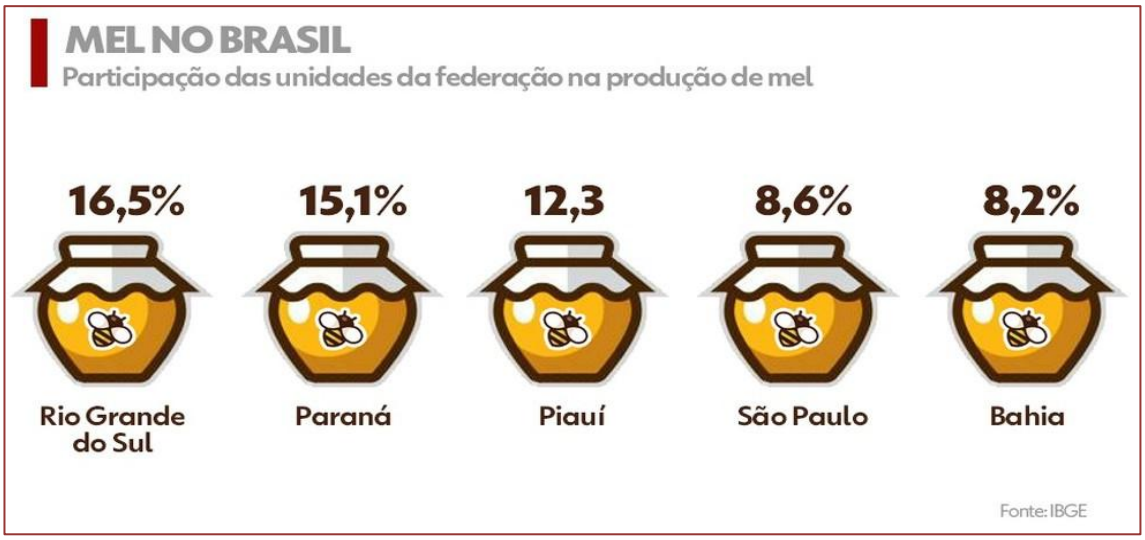
Em relação à inovação tecnológica, o futuro do mel como alimento funcional aponta para sua integração em produtos de valor agregado, como iogurtes, bebidas fermentadas, suplementos e formulações nutracêuticas (Alvarez-Suarez *et al*., 2020). A incorporação de técnicas como a microencapsulação, a nanotecnologia e os processos de secagem por atomização surgem como estratégia promissora para preservar os compostos bioativos e aumentar a estabilidade do produto final (Muñoz *et al*., 2021).

Portanto, os avanços científicos e tecnológicos, aliados a práticas apícolas sustentáveis e a regulamentações mais precisas, serão determinantes para consolidar o mel como ingrediente multifuncional e estratégico dentro da economia circular e da alimentação saudável, impulsionando o desenvolvimento de novos produtos alimentícios de alto valor agregado e promovendo a integração entre inovação, saúde e sustentabilidade. Essa sinergia contribuirá não apenas para o fortalecimento da apicultura nacional, mas também para a valorização do mel brasileiro no mercado global, posicionando-o como um símbolo de qualidade, biodiversidade e responsabilidade socioambiental.

5.1. PRODUÇÃO DO MEL NO BRASIL

A produção de mel no Brasil apresenta expressiva relevância socioeconômica, distribuindo-se de forma heterogênea entre as regiões, com destaque para os estados do Sul e Nordeste, que lideram os volumes de produção devido às condições climáticas favoráveis e à ampla disponibilidade de flora apícola. Essa diversidade de ecossistemas confere ao mel brasileiro uma rica variação em composição, cor, aroma e propriedades bioativas, refletindo a biodiversidade regional e o potencial para agregação de valor em produtos alimentícios e funcionais. De acordo com dados recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), o Rio Grande do Sul, o Paraná e o Piauí figuram entre os principais produtores nacionais, seguidos por São Paulo e Bahia, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2. Produção de Mel no Brasil



Fonte: Adaptado IBGE.

A apicultura desempenha um papel essencial na sustentabilidade ambiental e no fortalecimento da economia rural, representando uma atividade de baixo impacto e elevada relevância ecológica. O manejo racional das colmeias, aliado ao uso de técnicas modernas e sustentáveis, garante não apenas a produção de mel de alta qualidade, mas também a preservação das abelhas — agentes fundamentais na polinização de culturas agrícolas e na manutenção da biodiversidade. Essa prática, quando realizada de forma responsável, contribui significativamente para o equilíbrio dos ecossistemas e para o desenvolvimento de comunidades rurais mais resilientes e produtivas. A imagem a seguir ilustra a rotina do apicultor durante o manejo das colmeias, etapa essencial para a obtenção de um produto seguro, puro e em conformidade com os padrões de qualidade exigidos pela legislação brasileira.

Figura 3: Manejo de colmeias na produção de mel

Fonte: Correio Braziliense (2022).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mel destaca-se como um alimento natural de alta complexidade bioquímica e relevância funcional, cuja composição rica em açúcares simples, minerais, enzimas e compostos fenólicos confere propriedades nutricionais e terapêuticas de grande interesse científico e tecnológico. Conforme apresentado na Tabela 1, a variabilidade de sua composição físico-química e bioativa depende de fatores como origem floral, condições climáticas e práticas de manejo, refletindo diretamente em suas características sensoriais e funcionais.

Os estudos recentes reforçam que o mel não deve ser visto apenas como um adoçante natural, mas como um alimento funcional de múltiplas propriedades fisiológicas. Sua ação antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e prebiótica o torna um ingrediente promissor na formulação de produtos alimentícios voltados à promoção da saúde e à prevenção de doenças crônicas. Essa multifuncionalidade é atribuída à presença de compostos bioativos como flavonoides, ácidos fenólicos e enzimas, que atuam em sinergia com seus açúcares naturais e micronutrientes.

Além de sua relevância nutricional, o mel apresenta importante potencial tecnológico na indústria de alimentos, podendo ser utilizado como agente adoçante, conservante natural, estabilizante e veículo de compostos bioativos. Sua incorporação em produtos como iogurtes, panificados, bebidas e suplementos nutricionais não apenas agrega valor funcional e sensorial, mas também contribui para o desenvolvimento de alimentos mais naturais, alinhados às demandas de consumidores conscientes e às práticas sustentáveis de produção.

Dessa forma, o mel representa um modelo de alimento integral, que alia sabor, funcionalidade e sustentabilidade. O seu aproveitamento estratégico na elaboração de novos produtos alimentícios pode fortalecer cadeias produtivas locais, estimular a apicultura sustentável e ampliar o acesso a alimentos mais saudáveis e ricos em compostos bioativos. Assim, o mel reafirma sua importância não apenas como um recurso da biodiversidade brasileira, mas como um ingrediente funcional e sustentável, essencial na interface entre ciência, saúde e inovação alimentar.

REFERÊNCIAS

[1] ABADIO FINCO, Fernanda Dias Bartolomeu; MOURA, Luciana Learte; SILVA, Igor Galvão. Propriedades físicas e químicas do mel de Apis mellifera L. **Food Science and Technology**, v. 30, p. 706-712, 2010.

[2] Anwar, A., & col. (2025). Effect of Honey Concentration on the Quality and Functional Properties of Probiotic Honey Yogurt Beverages. **Applied Sciences**

[3] BEREKSI-REGUIG, F. et al**. Antimicrobial and antioxidant activities of honey: relationship with physicochemical properties and polyphenol composition.** *LWT – Food Science and Technology*, v. 196, p. 115625, 2024.

[4] **BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Instrução Normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 out. 2000. Seção 1, p. 16.

[5] CHEN, H.; LIU, J.; ZHOU, Y.; LI, X. Enhancing the sustainability of bakery products through honey incorporation: functional and antioxidant perspectives. *Foods*, v. 11, n. 14, 2103, 2022.

[6] CORREIO BRAZILIENSE. O lado (mais) doce do Cerrado: produção de mel destaca-se pela qualidade. Brasília, 11 mar. 2022. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br. Acesso em: 10 nov. 2025.

[7] FARAG, M. A.; MAHMOUD, E. A.; EL-WAKIL, E. A.; NASSAR, H. N. Honey-based functional foods: advances in formulation and bioactivity evaluation. *Food Research International*, v. 180, 113263, 2024.

[8] H WANG, L. et al. **Physicochemical properties and bioactive compounds of honeys from different floral origins and regions.** *Food Chemistry Advances*, v. 3, p. 100368, 2023.

[9] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa da Pecuária Municipal: produção de mel por unidade da federação – 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 nov. 2025.

[10] KAMBUA, S.; MAKAU, B.; GITHUA, K. Microencapsulation of natural honey: effects on antioxidant properties and thermal stability for use in sustainable food processing. *LWT – Food Science and Technology*, v. 183, 115224, 2023.

[11] KAYA, Melek Yılmaz; GÜLTEKIN, Yaşar Selman; GÜLTEKIN, Pınar. Evaluation of honey bees within the scope of sustainable development goals and ecosystem services. **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi,** v. 11, n. 5, p. 2397-2408, 2023.

[12] KLOSOWSKI, Ana Lea Macohon; KUASOSKI, Marli; BONETTI, Maria Beatriz Petroski. Apicultura brasileira: inovação e propriedade industrial. **Revista de política agrícola**, v. 29, n. 1, p. 41-41, 2020.

[13] LOPES, R. C.; SOUZA, B. A.; SANTOS, D. C.; NASCIMENTO, A. M.; MOREIRA, R. F. Sustainable beekeeping and biodiversity conservation: valorization of stingless bee honey in local food systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 429, 140112, 2023.

[14] Maicelo-Quintana, J. L., & col. (2024). Potential application of bee products in food industry. (Review). Science of the Total Environment / **Food Science journal**.

[15] OGWU, Matthew Chidozie; IZAH, Sylvester Chibueze. Honey as a natural antimicrobial. **Antibiotics,** v. 14, n. 3, p. 255, 2025.

[16] PALMA-MORALES, M.; HUERTAS, J. R.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, C. A comprehensive review of the effect of honey on human health. *Nutrients*, v. 15, n. 13, p. 3056, 2023.

[17] PRODANOVIĆ, R.; BRKIĆ, I.; SOLEŠA, K.; LJUBOJEV IĆ PELIĆ, D.; PELIĆ, M.; BURS I Ć, V.; VA PA TANKOSIĆ, J. Beekeeping as a tool for sustainable rural development. *Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management (JATEM)*, v. 7, n. 2, p. 1054–1066, 2024.

[18] ROYO, V. d. A.; OLIVEIRA, D. A. d.; VELOSO, P. H. F.; SACRAMENTO, V. d. M.; OLÍMPIO, E. L. A.; SOUZA, L. F. d.; PIRES, N. d. C.; MARTINS, C. H. G.; SANTIAGO, M. B.; ALVES, T. M. d. A.; et al. Physicochemical profile, antioxidant and antimicrobial activities of honeys produced in Minas Gerais (Brazil). *Antibiotics,* v. 11, n. 10, p. 1429, 2022.

[19] Russo, N., & col. (2023). Assessment of sensory properties and in vitro antimicrobial activity of honeys for food applications. (Artigo experimental / revisão aplicada).

[20] Schell, K. R., & col. (2022). The Potential of Honey as a Prebiotic Food to Re-engineer the Gut Microbiome Toward a Healthy State. **Frontiers in Nutrition,** 9:957932.

[21] Shakoori, Z., & col. (2024). The amount of antioxidants in honey has a strong regional variability: large-scale sampling study. **Scientific Reports**.

[22] SHAKOORI, Zahra et al. The amount of antioxidants in honey has a strong relationship with the plants selected by honey bees. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 351, 2024.

[23] STEFANIS, Christos et al. Honey's antioxidant and antimicrobial properties: A bibliometric study. **Antioxidants**, v. 12, n. 2, p. 414, 2023.

[24] W HANG, Y. et al. **Characterization and discrimination of monofloral honeys based on physicochemical parameters and antioxidant properties.** *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 121, p. 105554, 2023.

[25] YOUNG, J. F. et al. **Phenolic profile, antioxidant capacity and antibacterial activity of selected honeys: influence of floral source and processing.** *Food Research International***,** v. 169, p. 112991, 2023.

Capítulo 4

Hidrólise enzimática de óleos vegetais da Amazônia para a produção sustentável de ácidos graxos

Felipe Ribeiro Carlos
Kiara Faria de Assis
Yasmynn Myllena Gonçalves
Adriano Aguiar Mendes

Resumo: O presente estudo tem como objetivo a produção de concentrados de ácidos graxos livres (AGLs), uma importante classe de compostos para a indústria oleoquímica, por hidrólise enzimática de óleos extraídos de espécies oleaginosas do bioma Amazônia como andiroba (*Carapa guianensis*), bacaba (*Oenocarpus distichus*) e castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*). A formulação comercial em pó de lipase de Candida rugosa (LCR) foi empregada como biocatalisador. As reações de hidrólise foram conduzidas a 40 °C em sistemas isentos de agentes emulsificantes e tamponantes com contínua agitação mecânica de 1500 rpm empregando uma concentração de LCR de 3,2 g L^{-1} em meios contendo apenas óleos vegetais e água (40% em massa de óleo). Embora os três óleos apresentem diferentes composições em ácidos graxos, similares perfis de hidrólise nos primeiros 90 min de reação foram obtidos (conversões entre 55% e 60%). A hidrólise completa dos óleos de andiroba, bacaba e castanha-do-Pará foi obtida após 210 min, 240 min e 270 min de reação, respectivamente. Análises de espectrometria no infravermelho (IV) confirmam a completa conversão dos óleos em AGLs. LCR exibiu uma ampla especificidade e atividade catalítica na hidrólise de óleos com diferentes composições em ácidos graxos. Estes resultados demonstram a relevância deste estudo na produção enzimática de concentrados de AGLs na ausência da suplementação de aditivos como emulsificantes e tamponantes, contribuindo na implementação de processos de interesse industrial com menor complexidade técnica e mais sustentáveis (baixo consumo energético e menor geração de resíduos).

Palavras-chave: óleos amazônicos, hidrólise, ácidos graxos livres, lipase.

1. INTRODUÇÃO

Os ácidos graxos livres (AGLs) constituem uma valiosa classe de compostos orgânicos de grande interesse em processos industriais amplamente empregados na produção de biocombustíveis como biodiesel e bioquerosene, emulsificantes – tensoativos, cosméticos (emolientes), lubrificantes, plastificantes, fármacos e alimentos funcionais [1–3]. Tradicionalmente, esses compostos são obtidos pela hidrólise química de diferentes triacilgliceróis (TAGs) como óleos vegetais e microbianos, gorduras animais e óleos residuais (fritura) empregando catalisadores ácidos ou alcalinos sob altas temperaturas (200–300 °C) e pressões elevadas (50–60 bar), processo Colgate-Emery [1]. Apesar da alta eficiência (rendimento em AGLs acima de 97%), esse processo convencional empregado no setor industrial apresenta alguns inconvenientes como elevado consumo energético, geração de efluentes complexos e altamente corrosivos, além da sua baixa seletividade em relação aos produtos formados (formação de produtos oriundos da oxidação e interesterificação [1,3].

Neste contexto, a hidrólise de TAGs catalisada por lipases (triacilglicerol éster acilhidrolases, EC 3.1.1.3) vem se destacando como uma alternativa mais sustentável e seletiva na produção de AGLs [3–6]. Essas enzimas atuam na interface óleo/água catalisando a hidrólise de ligações ésteres de acilgliceróis para liberar AGLs e glicerol, bem como monoacilgliceróis (MAGs) e diacilgliceróis (DAGs) [6,7]. As lipases também catalisam reações de síntese orgânica em ambientes com baixa concentração de água como esterificação, transesterificação e interesterificação para a produção de valiosos ésteres para a indústria oleoquímica [2–7]. Essas enzimas possuem elevada atividade catalítica em condições brandas de temperatura e pH, e alta especificidade regio-, enantio- e quimiosseletiva, o que permite o direcionamento do processo para produtos de maior valor agregado. Além disso, por serem enzimas biodegradáveis, o uso de lipases reduz significativamente o impacto ambiental do processo e minimiza a necessidade de tratamento posterior dos resíduos gerados [2,3]. Essas propriedades têm despertado grande interesse do setor industrial por esta classe de enzimas [3,5].

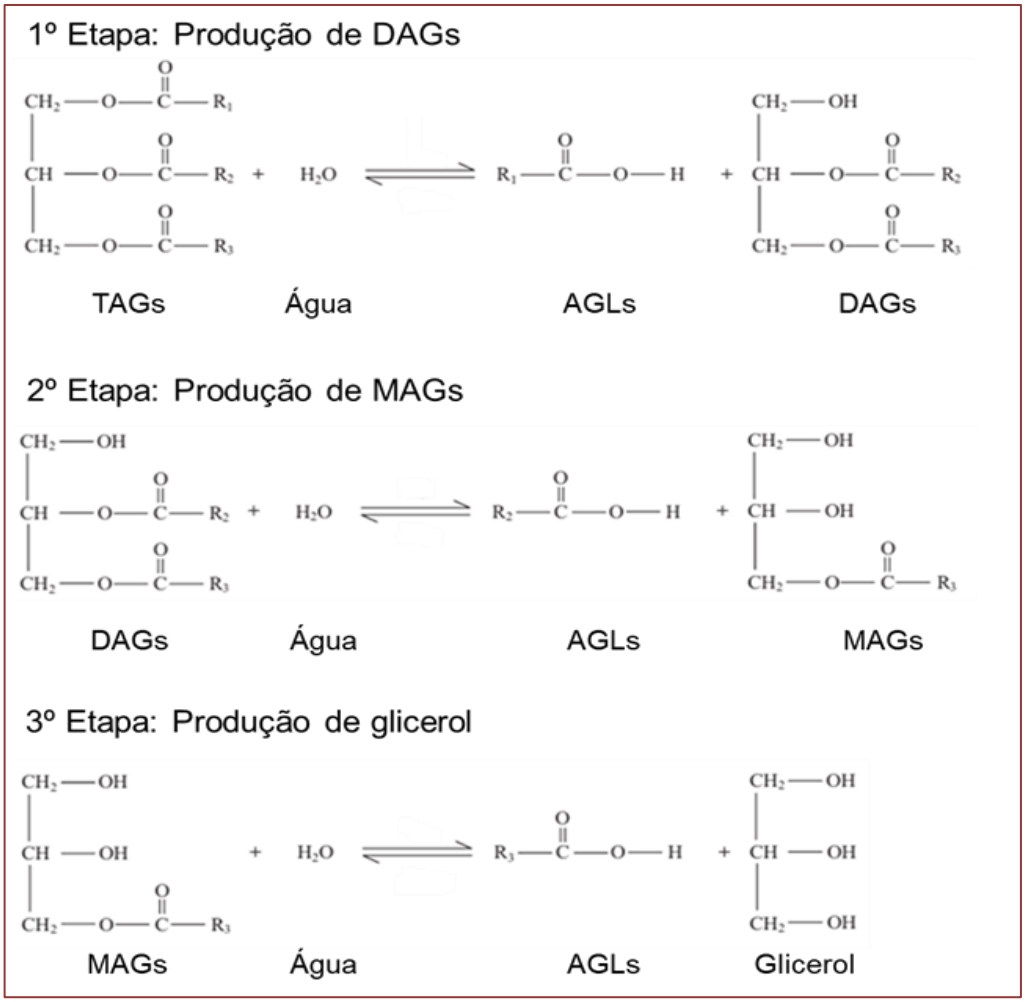
De fato, o mercado global de lipases está estimado em USD 1,13 bilhão em 2025. Projeções indicam que este mercado pode alcançar USD 2,65 bilhões em 2035, com uma taxa de crescimento anual de 9,1% neste período de avaliação [8]. Este crescimento é sustentado pelo aumento da demanda dessas enzimas em diversos setores industriais como alimentos e bebidas, detergentes, aromas e fragrâncias, rações animais e produtos farmacêuticos. Dentre elas, as lipases microbianas dominam este cenário devido à sua efetividade em custos, escalabilidade e estabilidade funcional em diferentes condições de processamento. Além disso, os avanços contínuos na engenharia de proteínas, aliados às tecnologias de fermentação mais eficientes, possibilitam melhorias no rendimento, na especificidade por substratos e na estabilidade térmica dessas enzimas [8,9].

Dentre as diferentes lipases microbianas disponíveis, a enzima produzida pela levedura *Candida rugosa* (LCR) é uma das lipases mais extensivamente estudada devido à sua alta versatilidade catalítica em reações de hidrólise de triacilgliceróis e de síntese de ésteres. Essa lipase possui atividade catalítica ótima em valores de pH entre 6,0 e 8,0 e temperaturas variando de 30 a 40 °C para a enzima livre [10]. Essa lipase é considerada não específica quanto à posição de hidrólise em triacilgliceróis, ou seja, ela hidrolisa ligações ésteres nas três diferentes posições dos TAGs – posições 1, 2, e 3 [10,11]. Devido à sua capacidade de catalisar reações na interface água-óleo, essa lipase é amplamente utilizada na hidrólise de óleos e gorduras naturais, produzindo concentrados ácidos graxos livres (AGLs) e também glicerídeos parciais como MAGs e DAGs. O processo de

hidrólise sequencial de TAGs para a produção de AGLs e intermediários como MAGs e DAGs é mostrado na Figura 1 [3]. Tais reações são relevantes na modificação de diferentes óleos na produção de AGLs para fins industriais e em aplicações analíticas na caracterização de diferentes TAGs [10,11]. Além da hidrólise, LCR também catalisa reações de síntese de ésteres de aroma, lipídios estruturados e biodiesel em meios não aquosos (condições com baixa concentração de água no meio), principalmente por esterificação de diferentes ácidos carboxílicos e álcoois [2,3,10,11].

Estudos anteriores em nosso grupo de pesquisa foram conduzidos com a finalidade de obter concentrados de AGLs por hidrólise completa de diferentes óleos vegetais como soja (*Glycine max*) e moringa (*Moringa oleífera* Lam), bem como de fritura obtido na etapa de processamento de alimentos, em meios isentos de agentes emulsificantes e tamponantes catalisada por LCR [12–15]. Estes concentrados de ácidos graxos obtidos foram separados, lavados e desidratados para serem empregados como matérias-primas para a produção de diferentes ésteres com propriedades como lubrificantes [12–14], e plastificantes em filmes de poli(cloreto de vinila) (PVC) [15], alternativos aos plastificantes convencionais obtidos do petróleo como ésteres de ácido ftálico, por reações de esterificação em meios isentos de solventes orgânicos.

Figura 1. Esquema representativo de hidrólise enzimática sequencial de TAGs na interface óleo/água [3]



Com o intuito de ampliar a versatilidade e aplicação desta lipase em reações de interesse industrial, óleos não convencionais obtidos de espécies oleaginosas do bioma Amazônia (óleos amazônicos), ainda pouco explorados, foram empregados como matérias-primas promissoras para a conversão biocatalítica em concentrados de AGLs. O nosso país abriga uma grande variedade de espécies oleaginosas, muitas delas nativas do bioma Amazônia, cujos óleos apresentam perfis de ácidos graxos diversificados e de grande interesse para diferentes setores industriais, bem como elevado teor de TAGs [16,17]. Dentre os óleos extraídos de espécies oleaginosas nativas da Amazônia, destacam-se o óleo de bacaba (*Oenocarpus distichus*), com predominância de ácido oleico e com concentrações relevantes de ácidos palmítico, linoleico e behênico [18]; o óleo de castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*), rico em ácidos graxos insaturados (oleico e linoleico) e compostos bioativos [19] e, por fim, o óleo de andiroba (*Carapa guianensis*), composto predominantemente por ácidos graxos como ácidos oleico, palmítico e esteárico, além de compostos bioativos como triterpenos, taninos e alcalóides isolados, como a andirobina e carapina, que lhe confere propriedades terapêuticas [20].

Portanto, a conversão biocatalítica desses óleos representa uma estratégia sustentável para a produção de concentrados de AGLs em condições amenas de temperatura e pressão e ambientalmente seguras, o que contribui para a agregação de valores a recursos nativos e o desenvolvimento regional. Além de reduzirem o impacto ambiental, em comparação aos métodos químicos tradicionais, os processos enzimáticos aplicados aos óleos amazônicos contribuem fortemente para a valorização da biodiversidade de nosso país, com a bioeconomia regional e a redução dos impactos ambientais associados à produção química convencional de AGLs, reportado acima. Diante disso, torna-se relevante investigar a eficiência catalítica de LCR, lipase selecionada para a execução deste estudo, baseada em trabalhos anteriores realizados pelo nosso grupo de pesquisa [12–14], na hidrólise desses óleos, visando a conversão completa em AGLs. A execução de propostas neste tema também pode contribuir para o avanço científico e tecnológico no campo da biocatálise, ampliando a atuação de lipases na produção de compostos de interesse industrial. É importante ressaltar que a aplicação de LCR como biocatalisador na produção de concentrados de AGLs empregando estes óleos amazônicos como matéria-prima oleaginosa ainda é muito pouco reportada na literatura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Lipase de *Candida rugosa* do Tipo VII (LCR) com atividade enzimática de 16200 U g^{-1} de formulação em pó e concentração de proteína de 24,5 mg g^{-1}, foi adquirida da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA). Os óleos refinados de andiroba (Código do Produto – 019; Lote AMO 019 – 003/052025), bacaba (Código do Produto – 020; Lote AMO 020 – 001/042025) e castanha-do-Pará (Código do Produto – 022; Lote AMO 022 – 009/122024) foram comprados da Amazon Oil Indústria e Comércio de Óleos Vegetais Ltda. (Ananindeua, Pará, Brasil). As características destes óleos como composição em ácidos graxos e parâmetros físico-químicos estão listados na Tabela 1 (Informação técnica fornecida pela empresa). Os outros reagentes químicos empregados neste estudo foram de grau analítico adquiridos da Synth® (São Paulo, SP, Brasil).

Tabela 1. Composição em ácidos graxos e propriedades físico-químicas e dos óleos amazônicos empregados neste estudo

Ácidos Graxos	Composição (% em massa)		
	Andiroba	Bacaba	Castanha-do-Pará
Palmítico ($C_{16:0}$)	25,0–32,0	13,0–15,0	16,0–20,0
Palmitoleico ($C_{16:1}$)	0,8–1,5	3,5–5,0	0,5–1,2
Esteárico ($C_{18:0}$)	6,0–13,0	4,0–7,0	9,0–13,0
Oleico ($C_{18:1}$)	45,0–58,0	50,0–65,0	36,0–45,0
Linoleico ($C_{18:2}$)	6,0–14,0	7,0–16,0	33,0–38,0
Behênico ($C_{22:0}$)	-	6,0–10,0	-
Outros	-	-	4,0–6,0
MM_{AGLs}[a] (g mol^{-1})	290,0	284,3	295,1
Aparência (25 °C)	Líquido	Líquido	Líquido
Cor	Amarelo para marrom	Esverdeado	Amarelo translúcido
Ponto de fusão (°C)	22	6	4
Densidade a 25 °C (g mL^{-1})	0,900–0,998	0,918–0,926	0,910–0,998
Índice de iodo (g_{I2} por 100 g)	90,0–110,0	56,0–68,0	55,0–80,0
Acidez (mg_{KOH} g^{-1})	<30,0	<20,0	<20,0
Índice de saponificação (mg_{KOH} g^{-1})	190–210	140–155	180–210

a – Massa molecular média dos ácidos graxos livres

2.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DOS ÓLEOS

A hidrólise completa dos óleos amazônicos catalisada pela lipase de *Candida rugosa* (LCR) foi realizada nas condições experimentais estabelecidas em um estudo anterior realizado em nosso grupo de pesquisa [14]. As misturas reacionais contendo 50 g de meio composto apenas de óleos amazônicos e água destilada na proporção de 40% em massa de óleos foram adicionadas em frascos fechados de polipropileno com capacidade de 250 mL (relação altura:diâmetro do frasco de 1,5), imersos em um banho-maria com controle de temperatura. A homogeneidade dos sistemas reacionais (criação de emulsões estáveis) foi mantida por um agitador mecânico de bancada (marca Fisatom, modelo 713, potência do motor de 70–130 W e frequência de 50–60 Hz) equipado com um impelidor helicoidal de três pás, confeccionado em chapas de aço inoxidável de 2 mm de espessura e diâmetro de 6 cm. As reações foram conduzidas a 40 °C com uma frequência de agitação de 1500 rpm e concentração de LCR de 3,2 g L^{-1} [14]. Amostras (1 g) dos meios de reação preparados foram periodicamente retiradas com auxílio de uma micropipeta e transferidas para Erlenmeyers de 125 mL contendo 10 mL de etanol 95% em massa e tituladas com solução de NaOH 30 mmol L^{-1} empregando fenolftaleína como indicador. As reações foram realizadas com duas replicações. A porcentagem de hidrólise (HP – %) foi determinada empregando a seguinte equação (Eq. (1)) [21]:

$$HP = \frac{V_{NaOH} \times 10^{-3} \times M_{NaOH} \times MM_{AGLs}}{m_{amostra} \times f} \times 100 \quad (1)$$

Em que*:* V_{NaOH} é o volume de solução de NaOH gasto durante a titulação (mL), M_{NaOH} é a concentração da solução de NaOH (30 mmol L^{-1}), MM_{AGLs} é a massa molecular média doa ácidos graxos dos óleos reportados na Tabela 1, $m_{amostra}$ é a massa de alíquota retirada do sistema (1 g), e f é a fração de óleo no início da reação (ƒ= 0,4 – que corresponde a 40% em massa de óleos).

2.3. SEPARAÇÃO E SECAGEM DOS AGLS PRODUZIDOS

As misturas reacionais foram transferidas separadamente para um funil de separação com capacidade de 500 mL e adicionados 100 mL de água destilada a 60ºC (vazão volumétrica de 1:1) para favorecer a separação das fases aquosa (contendo glicerol, LCR e água) e orgânica (fase superior de cada sistema contendo os AGLs obtidos). A fase inferior (aquosa) foi descartada e a fase orgânica foi lavada três vezes para a obtenção de AGLs isentos de glicerol residual. Em seguida, eles foram adicionados em frascos contendo sulfato de sódio anidro (20% em massa). Estes sistemas foram mantidos em contato por 18 h em repouso a 25ºC para a remoção de traços de água.

2.4. ANÁLISE DE ESPECTROMETRIA NO INFRAVERMELHO DOS ÓLEOS AMAZÔNICOS E AGLS PRODUZIDOS

Os espectros de IV dos óleos amazônicos (TAGs) e dos AGLs produzidos foram obtidos em um espectrômetro IRAffinity-1 Shimadzu (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). Esses espectros foram adquiridos após 32 varreduras entre 3500 e 600 cm^{-1} com resolução espectral de 4 cm^{-1}.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DOS ÓLEOS: ESTUDO DO EFEITO DO TEMPO NA FORMAÇÃO DOS AGLS

Os diferentes perfis de ácidos graxos (massas moleculares e graus de insaturação) dos três óleos amazônicos podem influenciar fortemente as propriedades reológicas dos meios de reação como a densidade e viscosidade, bem como a interação da lipase com as gotas de óleo que, portanto, influencia a sua especificidade e atividade catalítica no processo de hidrólise [1,3]. De um modo geral, os TAGs contendo altas concentrações de ácidos graxos saturados e com massas moleculares elevadas, como por exemplo ácidos palmítico, esteárico e behênico, podem parcialmente cristalizar/solidificar no meio de reação [22], dependendo da temperatura de processo. Neste caso, a agregação das gotas de óleos, processo de coalescência, tende a aumentar as forças de interação intermoleculares (forças de van der Waals) na interface óleo/água que aumenta a resistência do meio ao escoamento [23,24]. Essa agregação reduz drasticamente a área interfacial da emulsão [24] e, consequentemente, pode afetar a atividade catalítica de lipases [3]. Por outro lado, óleos vegetais contendo elevadas concentrações de ácidos graxos insaturados como mono- (ácidos oleico e palmitoleico) e poli-insaturados (ácidos linoleico ou linolênico) em suas composições favorecem a formação de emulsões com

maior dispersão das gotas de óleo e, consequentemente, melhor área interfacial em função da menor agregação. Neste contexto, a formação de emulsões mais estáveis favorece a adsorção de moléculas de lipases na superfície dessas gotas que aumenta consideravelmente a sua função catalítica na hidrólise de TAGs [3]. Conforme mostrado na Tabela 1, os três óleos amazônicos adquiridos contêm diferentes perfis de ácidos graxos saturados e insaturados com diferentes graus de insaturação, o que pode influenciar a especificidade e o desempenho catalítico de LCR, bem como a velocidade inicial da reação e o rendimento em AGLs.

A preparação de diferentes emulsões, inclusive àquelas empregadas como meios de reação para processos de hidrólise enzimática de TAGs, geralmente requer a adição de agentes estabilizantes e/ou emulsificantes com o intuito de melhorar as propriedades interfaciais como a redução da tensão superficial, maior controle do tamanho das gotas e estabilização física da emulsão. Diferentes polióis (glicerol e sorbitol), proteínas como caseína, polissacarídeos como goma arábica, surfactantes sintéticos (Tween 20, Tween 80, Triton X-100, ésteres de açúcares) e acilgliceróis como MAGs e DAGs têm sido amplamente empregados na estabilização de emulsões em formulações de alimentos, cosméticos e produtos de higiene pessoal [3,25,26]. No caso de reações de hidrólise enzimática, a utilização desses agentes favorece o processo de transferência de massa das moléculas de lipase para a área interfacial, o que melhora sensivelmente o seu desempenho catalítico. Dentre eles, a goma arábica, um composto natural constituído por polissacarídeos e glicoproteínas, tem sido o emulsificante mais utilizado em reações de hidrólise de TAGs catalisada por lipases [27,28]. A ampla utilização se deve à boa estabilidade física e qualidade das emulsões produzidas, o que favorece a difusão e adsorção de moléculas de lipase na área interfacial [27].

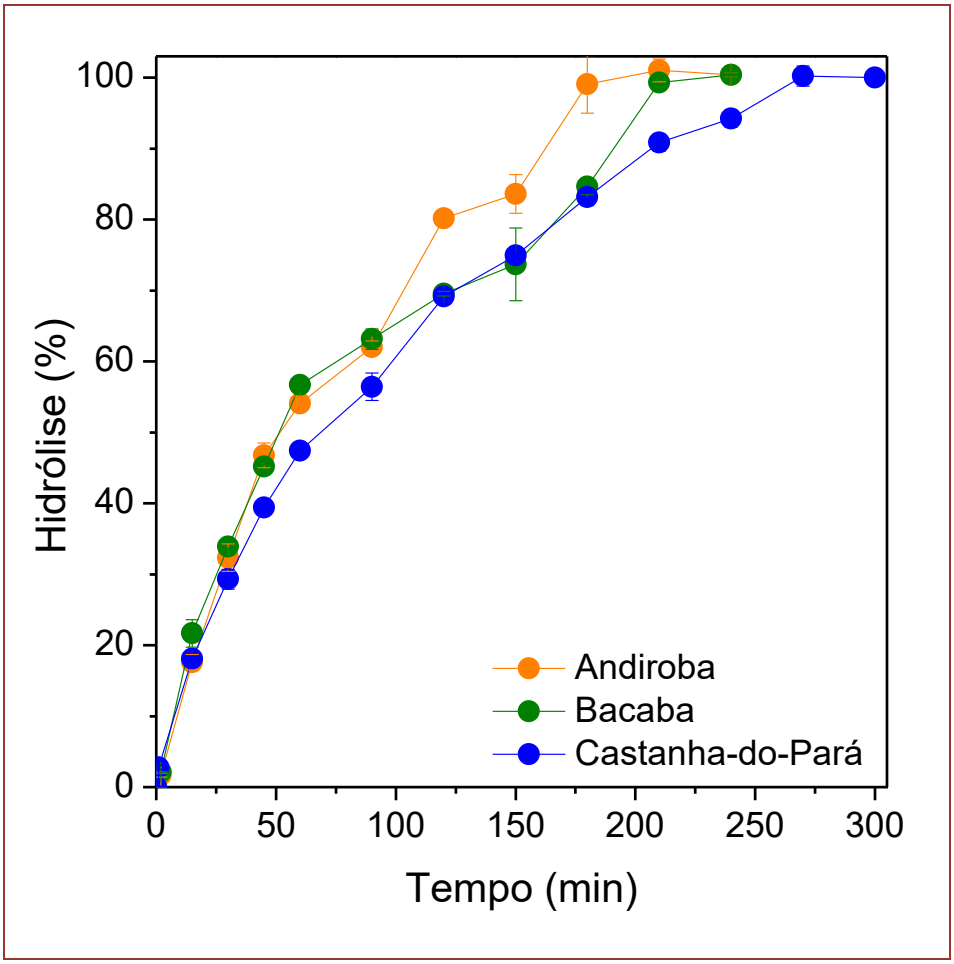
No entanto, a hidrólise de TAGs na ausência destes agentes apresenta enormes vantagens práticas, econômicas e ambientais [1]. Em sistemas isentos de emulsificantes, a separação das fases orgânica (fase superior – AGLs) e aquosa (fase inferior – solução de glicerol e lipase) é bastante facilitada [12–14]. Portanto, a condução de processos enzimáticos na ausência desses emulsificantes simplifica as etapas de separação e recuperação dos produtos da reação, pois não requer a adição de compostos químicos como sais e solventes necessários para “quebrar” as emulsões [29]. De fato, estes processos podem resultar na obtenção de fases aquosas com menor contaminação com aditivos, o que permite obter glicerol e AGLs com alto grau de pureza, o que é particularmente vantajoso para aplicações industriais nas áreas de alimentos, cosméticos e de química fina [1,3]. Além disso, a ausência desses aditivos pode também reduzir o consumo de insumos químicos e solventes e custos no processo, bem como a complexidade e o volume dos efluentes gerados.

Dessa forma, a condução de reações enzimáticas na ausência de emulsificantes/estabilizantes é bastante atrativa no estabelecimento de processos mais sustentáveis, na qual a simplicidade operacional, facilidade de separação/purificação dos produtos e a redução de impactos ambientais e custos são parâmetros altamente relevantes. Portanto, as reações de hidrólise enzimática dos óleos foram conduzidas na ausência de algum aditivo como agentes emulsificantes e tamponantes. Neste caso, a emulsificação do sistema foi mantida pela intensa agitação mecânica no sistema (1500 rpm) que reduz o processo de coalescência (agregação) das gotas de óleo e possibilita obter uma área interfacial adequada ao desempenho catalítico de LCR.

Os perfis de hidrólise dos três óleos, determinados pela concentração de ácidos graxos liberados na reação, são mostrados na Figura 2. Embora os óleos vegetais possuam

distintas propriedades físico-químicas devido às suas diferentes composições em ácidos graxos (ver Tabela 1), eles apresentaram perfis similares de hidrólise nos primeiros 90 min de reação (porcentagem de conversão entre 55 e 60%). Após este período, pode-se observar que o óleo de andiroba foi hidrolisado mais rapidamente que os outros dois óleos. Este resultado pode ser explicado por sua elevada porcentagem de ácidos graxos insaturados em sua composição e propriedades físicas, na qual pode ser confirmada pelo seu mais alto índice de iodo, parâmetro que mede o grau de insaturação de óleos vegetais [30], entre 90,0 e 110,0 g_{I2} por 100 g de óleo. De fato, a completa hidrólise deste óleo foi alcançada após 210 min de reação. No entanto, os óleos de bacaba e de castanha-do-Pará foram totalmente convertidos em AGLs após 240 e 270 min de reação, respectivamente. Estes diferentes tempos de reação poderiam ser explicados pelas diferentes composições em ácidos graxos e suas posições na estrutura dos TAGs, bem como a qualidade das emulsões obtidas ao longo da reação, que influenciaram a interação da enzima com as gotas de óleos na interface. Embora diferentes tempos tenham sido observados para cada óleo no processo de hidrólise, LCR apresentou ampla versatilidade e alta atividade catalítica para as diferentes ligações ésteres existentes em suas estruturas. Similares resultados foram também obtidos na hidrólise enzimática dos óleos de moringa, soja refinado e de fritura objetivando a produção de concentrados em AGLs para a produção de diferentes ésteres com propriedades lubrificantes e plastificantes [12–15].

Figura 2. Efeito do tempo de reação na hidrólise enzimática dos óleos amazônicos. As reações foram realizadas a 40 °C, 3,2 g L^{-1} de LCR, agitação mecânica de 1500 rpm empregando 50 g de meio de reação composto de 40% em massa de óleo



3.2. ANÁLISE DE IV DOS ÓLEOS E DOS AGLS PRODUZIDOS NA REAÇÃO

Os espectros de infravermelho dos respectivos óleos amazônicos e seus AGLs entre 3500 e 600 cm^{-1} são mostrados na Figura 2. Todos os espectros obtidos para os óleos e AGLs apresentam bandas características similares em suas composições. A banda próxima a 3000 cm^{-1} é referente ao estiramento do grupo =C–H característico de ligações duplas insaturadas na conformação *cis* existentes nos ácidos graxos insaturados como palmitoleico, oleico e linoleico [31,32]. As intensas bandas nas regiões de 2922–2918 cm^{-1} e 2853–2848 cm^{-1} representam os estiramentos assimétrico e simétrico da ligação –C–H dos grupos metileno (–CH_2–) e metila (–CH_3), respectivamente [31–33]. A banda na região de 1462–1456 cm^{-1} é atribuída à vibração de flexão C–H do grupo terminal –CH_3 relacionada à estrutura das cadeias alifáticas destes compostos [33]. Por fim, a banda em 721 cm^{-1} representa a vibração de balanço (*rocking*) dos grupos metileno (–CH_2–) de cadeia longa. Esta banda está relacionada ao empacotamento cristalino das cadeias alifáticas, na qual indica ordenação molecular típica de TAGs [32,33].

Os espectros dos óleos mostram claramente a presença de intensas bandas características em 1743 cm^{-1} que corresponde ao estiramento da carbonila das ligações éster dos TAGs e em 1160 cm^{-1} atribuído ao estiramento da ligação –C–O de seus grupos éster [31,33].

Após o processo de hidrólise enzimática, pode-se observar nitidamente o desaparecimento da banda em 1160 cm^{-1}, característica de ligações éster de TAGs, reportado acima, e o deslocamento da banda em 1743 cm^{-1} para a região de 1708–1704 cm^{-1} referente ao estiramento da ligação –C=O de grupos carboxílicos dos AGLs [31]. Além disso, o aparecimento da intensa banda em 1295 cm^{-1} é característica do estiramento da ligação –C–O– dos grupos carboxílicos dos AGLs (–COOH) [31–33]. A existência dessas bandas nos espectros dos diferentes AGLs produzidos confirmam a hidrólise enzimática completa dos óleos.

Figura 3. Espectros no infravermelho dos óleos e dos AGLs obtidos na hidrólise

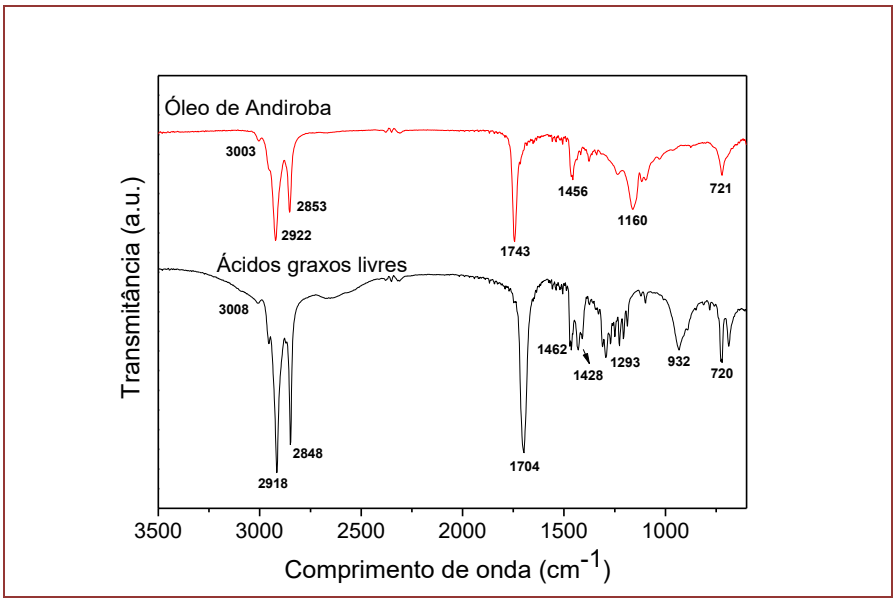
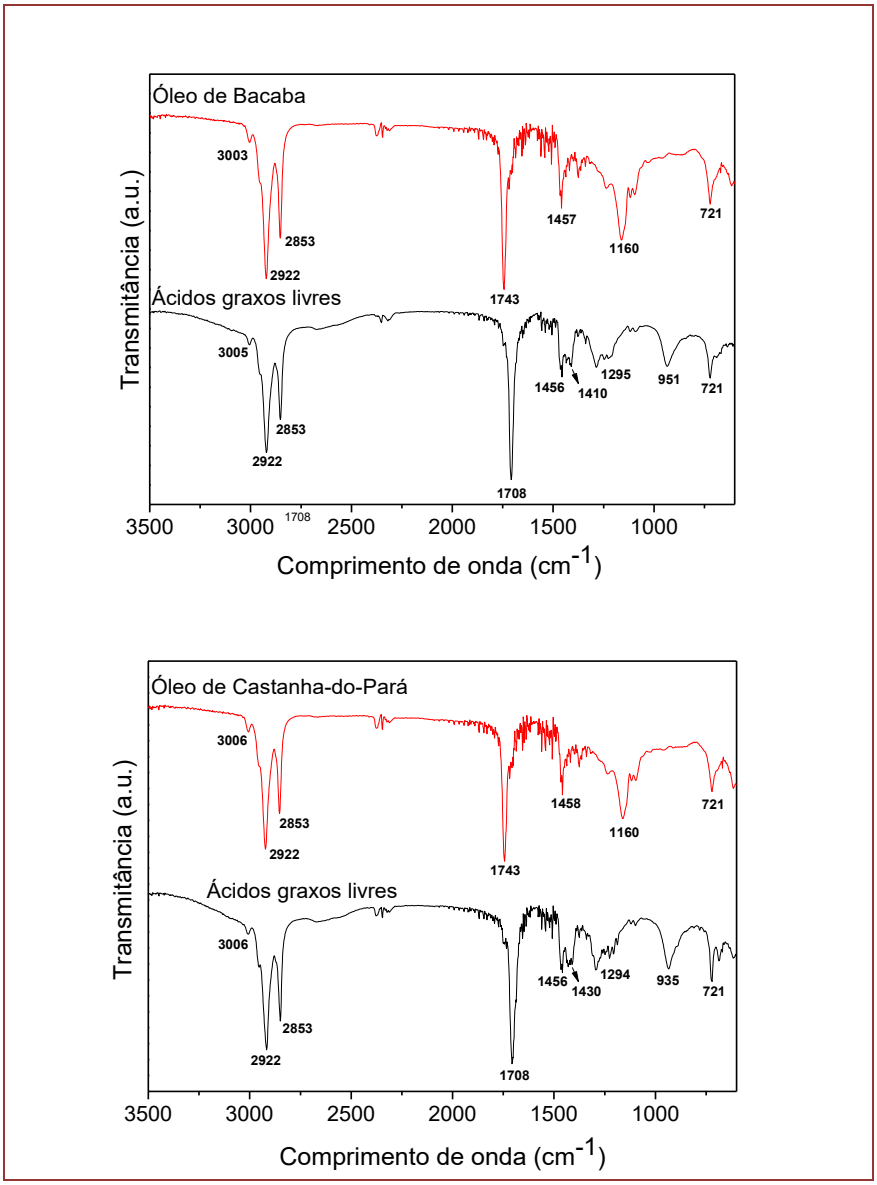


Figura 3. Espectros no infravermelho dos óleos e dos AGLs obtidos na hidrólise (continuação)



4. CONCLUSÃO

Neste estudo, um processo sustentável conduzido na ausência de agentes emulsificantes e tamponantes e solventes orgânicos foi proposto na produção de concentrados de ácidos graxos livres (AGLs) por hidrólise enzimática de óleos de espécies oleaginosas do bioma Amazônia. A lipase de *Candida rugosa* (LCR) mostrou uma larga especificidade e atividade catalítica no processo, resultando em completa hidrólise destes óleos entre 210 e 270 min de reação. Este estudo mostra claramente que o processo enzimático proposto mostra ser altamente eficiente do ponto de vista industrial devido ao não requerimento da adição de agentes emulsificantes e tamponantes na reação que favorecem a recuperação e purificação dos produtos obtidos na reação como AGLs e glicerol que são de grande interesse para a indústria oleoquímica. Além disso, ele pode ser altamente promissor no estabelecimento de processos industriais mais sustentáveis e seguros, pois minimiza a geração de resíduos e o consumo energético e possibilita a obtenção de produtos com alta qualidade.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (Processo APQ–00944–24) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo 306253/2023–2) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

[1] A. Baena, A. Orjuela, S.K. Rakshit, J.H. Clark, Enzymatic hydrolysis of waste fats, oils and greases (FOGs): Status, prospective, and process intensification alternatives, Chem. Eng. Process. - Process Intensif. 175 (2022) 108930. https://doi.org/10.1016/J.CEP.2022.108930.

[2] I.C.A. Bolina, R.A.B. Gomes, A.A. Mendes, Biolubricant production from several oleaginous feedstocks using lipases as catalysts: Current scenario and future perspectives, BioEnergy Res. 14 (2021) 1039–1057. https://doi.org/10.1007/S12155-020-10242-4.

[3] W.Z. Ng, E.S. Chan, W. Gourich, S.H. Adiiba, M.Y. Liow, C.W. Ooi, B.T. Tey, C.P. Song, Unveiling the role of mechanical process intensifications and chemical additives in boosting lipase-catalyzed hydrolysis of vegetable oil for fatty acid production: A comprehensive review, Int. J. Biol. Macromol. 284 (2025) 138144. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.138144.

[4] P. Adlercreutz, Immobilisation and application of lipases in organic media, Chem. Soc. Rev. 42 (2013) 6406–6436. https://doi.org/10.1039/c3cs35446f.

[5] P.Y. Stergiou, A. Foukis, M. Filippou, M. Koukouritaki, M. Parapouli, L.G. Theodorou, E. Hatziloukas, A. Afendra, A. Pandey, E.M. Papamichael, Advances in lipase-catalyzed esterification reactions, Biotechnol. Adv. 31 (2013) 1846–1859. https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2013.08.006.

[6] R. Fernandez-Lafuente, Lipase from *Thermomyces lanuginosus*: Uses and prospects as an industrial biocatalyst, J. Mol. Catal. B Enzym. 62 (2010) 197–212. https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2009.11.010.

[7] R.D. Schmid, R. Verger, Lipases: Interfacial enzymes with attractive applications, Angew. Chemie Int. Ed. 37 (1998) 1608–1633. https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3773(19980703)37:12<1608::AID-ANIE1608>3.0.CO;2-V.

[8] Lipase Market Size, Trends & Forecast 2025-2035. https://www.futuremarketinsights.com/reports/lipase-market (acessado em 27 de outubro de 2025).

[9] Lipase Market Size, Growth, Share and Trends Report 2030. https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lipase-market (acessado em 27 de outubro de 2025).

[10] P. Domínguez De María, J.M. Sánchez-Montero, J. V. Sinisterra, A.R. Alcántara, Understanding *Candida rugosa* lipases: An overview, Biotechnol. Adv. 24 (2006) 180–196. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.09.003.

[11] J. Barriuso, M.E. Vaquero, A. Prieto, M.J. Martínez, Structural traits and catalytic versatility of the lipases from the *Candida rugosa*-like family: A review, Biotechnol. Adv. 34 (2016) 874–885. https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2016.05.004.

[12] W.C.A. Carvalho, J.H.H. Luiz, R. Fernandez-Lafuente, D.B. Hirata, A.A. Mendes, Eco-friendly production of trimethylolpropane triesters from refined and used soybean cooking oils using an immobilized low-cost lipase (Eversa® Transform 2.0) as heterogeneous catalyst, Biomass Bioenergy. 155 (2021) 106302. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106302.

[13] M.S. Barbosa, C.C.C. Freire, L.M.S. Brandão, E.B. Pereira, A.A. Mendes, M.M. Pereira, Á.S. Lima, C.M.F. Soares, Biolubricant production under zero-waste *Moringa oleifera* Lam biorefinery approach for boosting circular economy, Ind. Crops Prod. 167 (2021) 113542. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.113542.

[14] G.J. Sabi, R.S. Gama, R. Fernandez-Lafuente, J. Cancino-Bernardi, A.A. Mendes, Decyl esters

production from soybean-based oils catalyzed by lipase immobilized on differently functionalized rice husk silica and their characterization as potential biolubricants, Enzyme Microb. Technol. 157 (2022) 110019. https://doi.org/10.1016/J.ENZMICTEC.2022.110019.

[15] G.J. Sabi, A.L.A. Simões, R.A.B. Gomes, W.A. da Silva, L.F. Gorup, A.A. Mendes, Production of environmentally friendly plasticizers derived from soybean oils using biochemical (lipases) and chemical catalysts – Performance in flexible PVC films, Process Biochem. 154 (2025) 63–74. https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2025.04.013.

[16] T.C. Menezes, G.A. Barra de Castro, H.A. Fernandes, K.E. Gutjahr, H.A. Dantas Filho, N.C. da Silva, K. das G.F. Dantas, NIR-based classification of vegetable oils from Amazon rainforest and quantification of adulterants, J. Food Compos. Anal. 138 (2025) 106988. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2024.106988.

[17] S.D. Soares, A. de S. Lima, C.T.C. da S. Miranda, I.A. Neri Numa, G.M. Pastore, Trends in the valorization of native Amazon palm trees as sources of bioactive lipids for use as functional ingredients, Trends Food Sci. Technol. 154 (2024) 104777. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2024.104777.

[18] Bacaba (*Oenocarps distichus*) - Amazon Oil, (n.d.). https://amazonoil.com.br/produtos-da-floresta/bacaba-oenocarps-distichus/ (acessado em 27 de outubro de 2025).

[19] Castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*) - Amazon Oil, (n.d.). https://amazonoil.com.br/produtos-da-floresta/castanha-do-para-bertholletia-excelsa/ (acessado em 27 de outubro de 2025).

[20] Andiroba (*Carapa guianensis*) - Amazon Oil, (n.d.). https://amazonoil.com.br/produtos-da-floresta/andiroba-carapa-guianensis/ (acessado em 27 de outubro de 2025).

[21] D. Rooney, L.R. Weatherley, The effect of reaction conditions upon lipase catalysed hydrolysis of high oleate sunflower oil in a stirred liquid-liquid reactor, Process Biochem. 36 (2001) 947–953. https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00130-3.

[22] E. Savchina, A.L. Grosso, P. Massoner, K. Morozova, G. Ferrentino, M.M. Scampicchio, Structuring vegetable oils through enzymatic glycerolysis for water-in-oil emulsions, Food Chem. 443 (2024) 138596. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.138596.

[23] I. Stanciu, A new mathematical model for the viscosity of vegetable oils based on freely sliding molecules, Grasas Aceites. 70 (2019) e318–e318. https://doi.org/10.3989/GYA.0824182.

[24] S.M. Ghazani, D.A. Pink, M. Koutchekinia, J.R. Carney, R. Bond, W. Rakitsky, A.G. Marangoni, Engineering the viscosity and melting behaviour of triacylglycerol biolubricants via interesterification, RSC Adv. 5 (2015) 37180–37187. https://doi.org/10.1039/C5RA02734A.

[25] J. Zheng, Y. Liang, J. Li, S. Lin, Q. Zhang, K. Zuo, N. Zhong, X. Xu, Enzymatic preparation of mono- and diacylglycerols: A review, Grain Oil Sci. Technol. 6 (2023) 185–205. https://doi.org/10.1016/J.GAOST.2023.10.002.

[26] T. Xiao, X. Ma, H. Hu, F. Xiang, X. Zhang, Y. Zheng, H. Dong, B. Adhikari, Q. Wang, A. Shi, Advances in emulsion stability: A review on mechanisms, role of emulsifiers, and applications in food, Food Chem. X. 29 (2025) 102792. https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2025.102792.

[27] A. Tiss, F. Carrière, I. Douchet, S. Patkar, A. Svendsen, R. Verger, Interfacial binding and activity of lipases at the lipid–water interface: Effects of Gum Arabic and surface pressure, Colloids Surfaces B Biointerfaces. 26 (2002) 135–145. https://doi.org/10.1016/S0927-7765(01)00315-0.

[28] X. Yao, N. Wang, Y. Fang, G.O. Phillips, F. Jiang, J. Hu, J. Lu, Q. Xu, D. Tian, Impact of surfactants on the lipase digestibility of gum arabic-stabilized O/W emulsions, Food Hydrocoll. 33 (2013) 393–401. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2013.04.013.

[29] Emulsion Breaking Techniques for Oil in Water Solvent Extractions. https://www.spectrosci.com/oil-in-water-analysis/oil-in-water-analysis-techniques/emulsion-breaking-techniques (acessado em 27 de outubro de 2025).

[30] Standard Test Method for Determination of the Iodine Value of Fats and Oils. https://www.astm.org/d5554-95.html (acessado em 27 de outubro de 2025).

[31] H. Mahdavi, A. Kamyabi, T. Shahalizade, H. Asadollahi Taheri, Preparation of highly flexible cellulose acetate membranes modified by hyperbranched poly(amine ester)-epoxidized soybean oil and evaluation of its filtration properties, Cellulose. 24 (2017) 5389–5402. https://doi.org/10.1007/S10570-017-1526-0.

[32] P. Bhuyan, L. Saikia, Waste Daucus carota (carrot) leaves as a source of highly active heterogeneous base catalyst for biodiesel production from soybean oil, Next Mater. 8 (2025) 100792. https://doi.org/10.1016/J.NXMATE.2025.100792.

[33] G. Fediuc, M. Oroian, FTIR analysis for authentication and fatty acid determination of walnut oil adulterated with common vegetable oils, LWT. 234 (2025) 118589. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2025.118589.

Capítulo 5

Impacto da fermentação espontânea em caixas de madeira na dinâmica de compostos bioativos em grãos de cacau trinitário

Biaani Beeu Martínez Valencia
Fredy Sangeado Gordillo
José Luis Solís Bonilla

Resumo: A fermentação constitui uma etapa essencial para o desenvolvimento das características sensoriais e da qualidade funcional dos grãos de cacau (*Theobroma cacao* L.). Entre os compostos de maior relevância presentes nos grãos estão os polifenóis, flavonoides e antocianinas, conhecidos por suas propriedades antioxidantes e por contribuírem de maneira significativa para o valor nutracêutico do cacau e seus derivados. No entanto, a dinâmica desses compostos durante processos fermentativos artesanais, especialmente em materiais genéticos trinitários, ainda é pouco compreendida. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo caracterizar as alterações físico-químicas e bioquímicas que ocorrem ao longo da fermentação espontânea de grãos de cacau trinitário conduzida em caixas de madeira de pequeno volume no sul do México. A fermentação foi realizada por 120 horas, com revolvimento diário, e foram monitorados temperatura, pH, umidade e índice de fermentação, além da quantificação dos compostos bioativos por métodos espectrofotométricos. Os resultados revelam que fenóis totais e flavonoides atingiram seus valores máximos entre 48 e 72 horas de fermentação. O índice de fermentação ultrapassou 1,0 às 96 horas, demonstrando que, sob as condições avaliadas, o ponto ótimo do processo é alcançado antes do tempo tradicionalmente utilizado pelos produtores (6-7 dias).Os achados deste estudo reforçam que o manejo adequado da fermentação, especialmente em caixas de madeira que favorecem boa aeração e drenagem, influência de maneira decisiva a dinâmica dos compostos bioativos e a qualidade final dos grãos. A identificação do ponto ótimo em 96 horas oferece subsídios práticos para otimizar processos artesanais, reduzindo perdas de compostos nutracêuticos e melhorando tanto o perfil sensorial quanto o valor funcional do cacau produzido na região. Assim, este trabalho contribui para o entendimento aprofundado da bioquímica da fermentação do cacau trinitário e destaca a importância de práticas pós-colheita fundamentadas em evidências científicas.

Palavras-chave: processamento pós-colheita, qualidade, fenóis.

1. INTRODUÇÃO

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é um dos cultivos de maior relevância econômica, social e cultural nas regiões tropicais do mundo. Nas últimas décadas, além de seu papel central como matéria-prima para a indústria chocolatera, tem despertado crescente interesse científico devido às suas propriedades nutracêuticas, atribuídas principalmente à sua complexa composição química e à presença de compostos bioativos com reconhecido potencial benéfico à saúde humana (Cortez *et al*., 2023; Calva-Estrada *et al*., 2019). A demanda global por alimentos funcionais tem reforçado a importância do cacau como ingrediente de alto valor agregado, incentivando a investigação sobre como fatores genéticos, agronômicos e tecnológicos influenciam a sua composição (Aprotosoaie *et al*., 2016).

Entre seus principais constituintes, o cacau se destaca pela elevada concentração de metilxantinas, especialmente teobromina e cafeína, e por uma diversidade de polifenóis, incluindo os flavan-3-óis, antocianinas e proantocianidinas. Esses compostos apresentam forte atividade antioxidante e têm sido associados à modulação de processos inflamatórios, metabólicos e cardiovasculares (Carrillo *et al*., 2014; Dugo *et al*., 2018; Martín e Ramos, 2021). Estudos adicionais indicam efeitos positivos sobre função cognitiva, microbiota intestinal e redução do estresse oxidativo (Katz *et al*., 2011; Oracz e Nebesny, 2019). Contudo, esses metabólitos também conferem características sensoriais indesejáveis, como amargor e adstringência, representando desafios para equilibrar qualidade sensorial e funcionalidade bioativa (Carrillo *et al*., 2014; Kadow *et al*., 2015).

O conteúdo final de compostos bioativos nos grãos de cacau resulta de uma interação complexa entre fatores intrínsecos, como genótipo, maturação fisiológica e morfologia do fruto, e fatores extrínsecos relacionados ao ambiente e ao manejo pós-colheita. Açúcares redutores, peptídeos e aminoácidos desempenham papéis fundamentais como precursores para reações químicas e bioquímicas que influenciam sabor, cor e bioatividade (Toker *et a*l., 2020; Cevallos-Cevallos *et al*., 2018). Além disso, origem geográfica, manejo agronômico, altitude e condições climáticas também contribuem para a variabilidade química observada nos grãos (Hernández-Hernández *et al*., 2018; Kongor *et al*., 2016).

Dentre as etapas do processamento pós-colheita, a fermentação é considerada a mais determinante tanto para o perfil sensorial quanto para a composição bioquímica final. Trata-se de um processo microbiano complexo, envolvendo sucessão de leveduras, bactérias láticas e acéticas, cujas atividades metabólicas promovem alterações na polpa e dentro dos grãos, incluindo degradação de antocianinas, oxidação de polifenóis, formação de precursores de aroma e modificações estruturais (Marseglia *et al*., 2019; Schwan e Wheals, 2004; Ho *et al*., 2018). A eficiência e intensidade desses processos dependem de fatores como temperatura, aeração, frequência de revolvimento e condições de drenagem (Papalexandratou *et al*., 2011; Ardhana e Fleet, 2003).

Em regiões cacaueiras como o Soconusco, Chiapas (México), a fermentação é predominantemente artesanal, realizada em caixas de madeira recobertas com folhas ou materiais tradicionais. Embora amplamente difundido, esse sistema apresenta alta variabilidade em termos de dinâmica térmica e microbiana, o que pode impactar significativamente a evolução dos compostos bioativos (Afoakwa *et al*., 2013; De Vuyst e Weckx, 2016). A fermentação espontânea, que dura tipicamente cerca de sete dias, favorece transformações essenciais para o desenvolvimento sensorial, mas seus efeitos

sobre a retenção ou degradação de compostos nutracêuticos permanecem pouco explorados em materiais trinitários.

Apesar da relevância da fermentação para a qualidade final, existe uma lacuna na literatura referente à evolução específica de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas durante fermentações espontâneas conduzidas em caixas de madeira, especialmente em cultivares trinitários cultivados no México. A maior parte dos estudos concentra-se em cacau forasteiro, criollo ou em sistemas controlados, deixando pouco compreendidas as dinâmicas bioquímicas de sistemas artesanais utilizados amplamente na América Latina (Amin *et al.*, 2018; Fernández-Romero *et al.*, 2020). Dessa forma, estudar a evolução dos compostos bioativos ao longo da fermentação espontânea do cacau trinitário é essencial para compreender as implicações do processamento pós-colheita sobre sua qualidade nutracêutica e sensorial. Ademais, esse conhecimento pode subsidiar estratégias tecnológicas que visem otimizar a retenção de compostos funcionais sem comprometer as características sensoriais desejáveis do cacau fermentado.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar detalhadamente a evolução dos compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas durante o processo de fermentação espontânea em caixas de madeira utilizando grãos de cacau trinitário, contribuindo para o entendimento da dinâmica bioquímica envolvida e de sua influência na qualidade final do grão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Origem do material vegetal

As mazorcas de cacau (Theobroma cacao L.) utilizadas neste estudo foram coletadas em estágio pleno de maturação fisiológica em parcelas de produtores localizadas na comunidade de Chamulapita, município de Huehuetán, Chiapas, México. Apenas frutos íntegros, sem danos mecânicos, sintomas de patógenos ou infestação de insetos, foram selecionados, seguindo critérios recomendados por Afoakwa (2014) para assegurar uniformidade e qualidade do processo fermentativo. Após a coleta, o material vegetal foi transportado ao Laboratório de Bioenergia do Campo Experimental Rosario Izapa (INIFAP), onde as mazorcas foram higienizadas com água potável, abertas manualmente e teve seus grãos com polpa extraídos conforme metodologia descrita por Schwan e Wheals (2004).

Processo de fermentação

A fermentação foi conduzida de forma espontânea utilizando caixas de madeira de Tepemixtle (*Ocotea veraguensis* (Meisn.) Mez) com dimensões de 15 × 15 × 15 cm. Em cada caixa foram adicionados 4 kg de grãos frescos com polpa (Figura 1).

Figura 1. Fermentação em pequena escala de cacau Trinitario em caixas de madeira Tepemixtle

O processo teve duração de 5 dias sob condições ambientais, sem controle artificial de pH ou temperatura, seguindo práticas amplamente utilizadas em estudos de fermentação artesanal do cacau (Camu *et al.*, 2008; De Vuyst e Weckx, 2016, Martínez *et al*., 2024). A massa fermentativa foi revolvida a cada 24 horas para promover aeração e redistribuição térmica, contribuindo para o crescimento de leveduras, bactérias ácido-lácticas e acéticas, microrganismos essenciais para a sequência bioquímica da fermentação (Schwan, 1998). Coletas foram realizadas nos intervalos de 0, 24, 48, 72, 96 e 120 horas, retirando-se 60 g de grãos por ponto temporal para análise.

Determinação de temperatura e pH

A temperatura interna da massa fermentativa foi monitorada diariamente em cinco pontos equidistantes utilizando um termômetro digital de penetração previamente calibrado. Esta abordagem segue recomendações metodológicas descritas por Afoakwa *et al*. (2013) para acompanhamento térmico de fermentações naturais. O pH foi determinado a partir da homogenização de 10 g de polpa e grãos com 90 mL de água destilada. A medição foi realizada utilizando um potenciômetro previamente calibrado com soluções tampão pH 4,0 e 7,0, conforme procedimentos relatados por Lima *et al*. (2011).

Determinações físico-químicas e químicas

Conteúdo de umidade

A umidade dos grãos foi determinada pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C até peso constante, de acordo com a norma AOAC 925.10 (AOAC, 2016). Os resultados foram expressos em porcentagem base úmida.

Índice de fermentação (IF)

O índice de fermentação foi calculado por espectrofotometria UV-Vis, a partir da razão entre absorbâncias a 460 e 530 nm, segundo a metodologia clássica descrita por Jinap et al. (1994) e posteriormente aplicada por Elwers *et al*. (2009). Valores crescentes de IF representam maior degradação de antocianinas, indicando avanço do processo fermentativo.

Determinação de compostos bioativos

Fenóis totais

Os fenóis totais foram quantificados pelo método Folin-Ciocalteu (Singleton *et al*., 1999). Para a extração, 2 g de grãos moídos foram homogenizados com metanol a 80% (v/v) e centrifugados. O sobrenadante foi misturado com o reagente Folin-Ciocalteu e carbonato de sódio, e a absorbância medida a 765 nm. Os resultados foram expressos como mg de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg EAG/g) base seca.

Flavonoides totais

A quantificação de flavonoides seguiu o método colorimétrico com cloreto de alumínio descrito por Chang *et al*. (2002), amplamente utilizado em matrizes vegetais ricas em polifenóis. A absorbância foi registrada a 510 nm, com resultados expressos como mg de equivalentes de catequina (mg EC/g) base seca.

Antocianinas totais

As antocianinas foram determinadas pelo método do pH diferencial (Giusti e Wrolstad, 2001), utilizando tampões pH 1,0 e pH 4,5. A absorbância foi medida a 520 e 700 nm, expressando os resultados em mg de cianidina-3-glicosídeo/g.

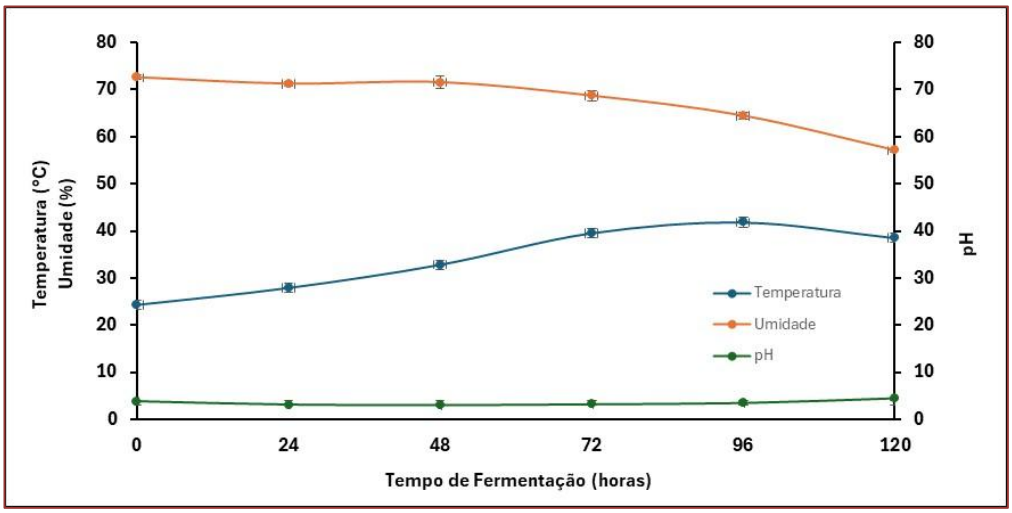
Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, tendo o tempo de fermentação como fator principal. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida por teste de comparação de médias ao nível de significância de $p \leq 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R versão 3.5.1 (R Core Team, 2018), metodologia amplamente aplicada em estudos de processamento de cacau (Afoakwa *et al*., 2013; Kadow *et al*., 2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos revelam uma dinâmica típica do processo de fermentação espontânea do cacau (Figura 2), evidenciando alterações físico-químicas e bioquímicas que coincidem com os padrões descritos em estudos clássicos sobre fermentações tradicionais conduzidas em caixas de madeira. O aumento gradual da temperatura, partindo de 24 °C no início até atingir um máximo de 41,8 °C às 96 horas, confirma a intensa atividade metabólica associada à degradação de açúcares e à produção de etanol por leveduras, seguida da oxidação deste etanol a ácido acético por bactérias acéticas (Crafack *et al*., 2014). Esse comportamento térmico é coerente com o relatado por Melo et al. (2021), que descrevem faixas entre 40-45 °C como características de fermentações bem desenvolvidas e diretamente associadas à morte do embrião e à ativação de enzimas oxidativas internas, fundamentais para a formação de precursores aromáticos.

Figura 2. Comportamento da temperatura (°C), umidade (%) e pH durante 5 dias de fermentação espontânea em caixas de madeira



Com relação ao pH, a leve diminuição inicial seguida de aumento ao final do processo indica a transição entre as fases microbianas dominantes. Durante as primeiras 48-72 horas, a atividade de leveduras e bactérias ácido-láticas gera ácidos orgânicos, principalmente láctico, acético e cítrico, responsáveis pela acidificação do sistema (Balogu *et al*., 2014). O posterior aumento do pH pode ser atribuído à redução dos açúcares disponíveis, à diminuição da produção de ácidos e ao maior aporte de oxigênio durante as revolvidas, favorecendo a volatilização parcial do ácido acético e a oxidação de compostos orgânicos. Tendências semelhantes foram documentadas em fermentações de clones trinitários e forasteiros em outras regiões tropicais (Cortez *et al*., 2023; Hernández-Hernández *et al.*, 2019).

O teor de umidade mostrou uma redução superior a 16% ao final do processo. Essa perda é esperada em sistemas de fermentação abertos, nos quais a combinação de altas temperaturas, degradação da polpa e aeração favorece a evaporação da água (Afoakwa, 2014). A redução da umidade é crucial para facilitar a ação de enzimas como polifenoloxidases e glicosidases, que participam ativamente da degradação de polifenóis e antocianinas.

No que diz respeito ao índice de fermentação (IF), os resultados indicam avanço significativo do processo, passando de 0,686 no tempo zero para valores superiores a 1,06 às 96 horas. Segundo Sulaiman (2014), valores entre 1,0 e 1,599 correspondem a grãos completamente fermentados, indicando que, nas condições avaliadas, a fermentação ótima é alcançada aproximadamente às 96 horas. Esse achado é particularmente relevante, pois demonstra que em condições artesanais na região, a fermentação pode ser concluída em menos tempo que os tradicionais 6-7 dias, o que coincide com observações recentes de fermentações aceleradas em caixas de pequeno volume (Crafack *et al*., 2014; Melo *et al*., 2021).

Em relação ao comportamento dos compostos bioativos, os flavonoides e os fenóis totais atingiram seus valores máximos entre 48–72 horas, seguidos de uma diminuição significativa até 120 horas (Tabela 1). Esse comportamento pode ser explicado pela degradação enzimática e oxidativa que ocorre à medida que avançam as fases microbianas. As polifenoloxidases e peroxidases endógenas são ativadas na presença de oxigênio e sob condições de alta temperatura, promovendo a polimerização dos

compostos fenólicos e reduzindo sua disponibilidade (Dugo *et al*., 2018; Carrillo *et al*., 2014). Esse padrão tem sido amplamente documentado em fermentações controladas, especialmente em materiais genéticos trinitários, conhecidos por sua maior sensibilidade à degradação fenólica (Hernández-Hernández *et al*., 2019).

Tabela 1. Perfil de compostos bioativos dos grãos de cacau durante a fermentação

Tempo (horas)	Índice de fermentação	Flavonoides (mgECE g^{-1})	Fénois (mgECE g^{-1})	Antocianinas (mg 100 g^{-1})
0	0.686±0.028d†	129.212±7.95d	66.250±3.72d	257.637±10.33a
24	0.792±0.004c	243.030±7.71b	163.681±2.48ab	260.692±8.08a
48	0.848±0.015bc	354.342±2.29a	168.610±7.96a	218.601±5.023ab
72	0.910±0.016b	178.851±12.03c	104.066±11.54cd	158.520±5.13c
96	1.067±0.061a	193.391±11.28c	104.066±11.56cd	193.483±6.57bc
120	1.087±0.015a	138.804±13.68d	126.149±2.56bc	181.602±12.65bc

†Médias com letras diferentes por coluna são estatisticamente diferentes pelo teste ANOVA de Tukey (p≤0,05).

As antocianinas, por sua vez, apresentaram o comportamento esperado: o teor máximo foi registrado às 48 horas, seguido de redução acentuada até o final da fermentação. A degradação de antocianinas é um indicador chave do avanço fermentativo, uma vez que essas moléculas são convertidas em cianidina-3-galactosídeo e cianidina-3-arabinosídeo após a ruptura celular e exposição ao ambiente ácido (Jinap et al., 1994). A redução observada está alinhada com o relatado por Cortez *et al*. (2023) e Melo et al. (2021), que reportam diminuições entre 40-70% durante as primeiras 96 horas em fermentações similares.

A análise integrada sugere que, embora a fermentação seja essencial para o desenvolvimento de características sensoriais desejáveis, ela também altera significativamente a concentração de compostos bioativos, implicando um equilíbrio entre qualidade sensorial e valor nutracêutico. Esse resultado corrobora o observado por Marseglia *et al*. (2019), que destacam que a fermentação modifica profundamente a bioatividade antioxidante do cacau ao alterar sua integridade fenólica. Finalmente, os resultados confirmam que a fermentação realizada em caixas de madeira influencia diretamente a dinâmica dos compostos bioativos. A determinação do ponto ótimo às 96 horas não apenas contribui para o entendimento bioquímico do processo, como também oferece informações relevantes para produtores que buscam equilibrar qualidade sensorial e potencial nutracêutico, especialmente em materiais trinitários cultivados no sul do México.

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstram que a fermentação espontânea de grãos de cacau trinitário conduzida em caixas de madeira promove alterações físico-químicas e bioquímicas características de um processo fermentativo adequadamente desenvolvido. A dinâmica térmica, associada ao aumento gradual da temperatura até aproximadamente 42 °C, confirmou intensa atividade microbiana e enzimática, refletindo o avanço ordenado das diferentes fases fermentativas. Observou-se que o ponto ótimo do processo ocorreu por volta das 96 horas, período em que se registraram valores indicativos de completa fermentação, como o índice de fermentação superior a 1,0 e a degradação significativa das antocianinas. Esse tempo reduzido, comparado aos tradicionais 6–7 dias utilizados em práticas artesanais da região, evidencia a eficiência das caixas de madeira de pequeno

volume na condução do processo. A concentração dos compostos bioativos apresentou comportamento dinâmico ao longo da fermentação. Fenóis totais e flavonoides atingiram picos entre 48-72 horas, seguidos de redução associada à atividade oxidativa e à polimerização desses compostos. As antocianinas, por sua vez, exibiram diminuição contínua após 48 horas, refletindo sua participação nos processos de degradação e formação de pigmentos associados ao desenvolvimento da cor característica do cacau fermentado. De forma geral, os resultados confirmam que a fermentação, além de essencial para a formação do perfil sensorial do cacau, impacta significativamente a composição de compostos bioativos, estabelecendo um equilíbrio entre qualidade organoléptica e valor nutracêutico. A identificação do ponto ótimo de 96 horas constitui uma contribuição prática relevante para sistemas produtivos artesanais, oferecendo subsídios para otimizar processos, reduzir perdas bioativas e melhorar a qualidade final dos grãos. Este estudo amplia o entendimento sobre a dinâmica bioquímica da fermentação em condições tradicionais no sul do México e reforça a importância de práticas adequadas de manejo pós-colheita para potencializar tanto a qualidade sensorial quanto o valor funcional do cacau.

REFERÊNCIAS

[1] AFOAKWA, E. O.; PATERSON, A.; FOWLER, M.; RYAN, A. **Microbial roles in cocoa fermentation and factors influencing flavor formation**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 53, n. 6, p. 712-724, 2013.

[2] AFOAKWA, E. O.; QUAO, J.; BUDU, A. S.; TAKRAMA, J. F.; SAALIA, F. K. **Changes in temperature and acidity during fermentation of pulp preconditioned cocoa (Theobroma cacao) beans**. International Food Research Journal, v. 20, n. 4, p. 1843–1853, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s13197-012-0873-9.

[3] AFOAKWA, E. O. Cocoa production and processing technology. CRC Press. 2014. https://doi.org/10.1201/b17171

[4] AMIN, I.; JINAP, S.; JAMILAH, B. **Impact of different fermentation approaches on the quality of cocoa beans.** Food Chemistry, v. 268, p. 272-280, 2018.

[5] ARDHANA, M. M.; FLEET, G. H. **The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia.** International Journal of Food Microbiology, v. 86, n. 1–2, p. 87-99, 2003.

[6] AOAC INTERNATIONAL. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20. ed. Gaithersburg: AOAC, 2016.

[7] BALOGU, T. V.; ADENIRAN, H. A.; OBADINA, A. O. **Changes in pH, sugars and organic acids during fermentation of cocoa beans.** International Journal of Food Science, v. 2014, p. 1–6, 2014. DOI: https://doi.org/10.1155/2014/750291.

[8] CALVA-ESTRADA, S. J.; UTRILLA-VÁZQUEZ, M.; VALLEJO-CARDONA, A. A.; ROBLES-RAMÍREZ, M. D.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. **Cocoa (Theobroma cacao L.) polyphenols and their effects on human health**. Nutrients, v. 11, n. 6, p. 1431, 2019.

[9] CAMU, N. et al. **Influence of turning and environmental contamination on lactic and acetic acid bacteria during cocoa fermentation**. Applied and Environmental Microbiology, v. 74, n. 1, p. 86–98, 2008. DOI: https://doi.org/10.1128/AEM.01782-07.

[10] CARRILLO, L. C.; GIACOMETTI, J.; FRANCHINI, S. **Influence of postharvest conditions on polyphenol oxidation and chocolate quality**. Food Chemistry, v. 157, p. 1–8, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.001

[11] CEVALLOS-CEVALLOS, J. M.; GYSEL, L.; MARIDUEÑA-ZAVALA, M. G.; MOLINA-MIRANDA, M. J. **Cocoa bean post-harvest: A review on its microbiology and biochemical transformations.** Journal of Applied Microbiology, v. 125, n. 4, p. 958-976, 2018.

[12] CHANG, C. C.; YANG, M. H.; WEN, H. M.; CHERN, J. C. **Estimation of total flavonoid content in propolis by colorimetric methods.** Journal of Food and Drug Analysis, v. 10, n. 3, p. 178–182, 2002. DOI: https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748.

[13] CORTEZ, E. A.; MELO, W. R.; SANTOS, L. R**. Phenolic composition and antioxidant dynamics during cocoa fermentation**. Food Research International, v. 167, p. 112622, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112622

[14] CRAFACK, M. et al. **Impact of starter cultures and fermentation techniques on chocolate aroma and sensory profile.** International Journal of Food Microbiology, v. 180, p. 5–17, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.03.018

[15] DE VUYST, L.; WECKX, S. **The cocoa bean fermentation process: From ecosystem analysis to starter culture development.** Journal of Applied Microbiology, v. 121, n. 1, p. 5–17, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/jam.13045

[16] DUGO, P.; MONDELLO, L.; CACCIOLA, F. **Polyphenol transformations during cocoa fermentation.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 66, n. 37, p. 9759–9770, 2018. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02852

[17] ELWERS, S. et al. **Differences between the content of phenolic compounds in Criollo, Forastero and Trinitario cocoa seed.** European Food Research and Technology, v. 229, p. 937–948, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-009-1125-0

[18] FERNÁNDEZ-ROMERO, E.; CAMU, N.; DE WINTER, K. **Biochemical changes during cocoa fermentation: A review.** Trends in Food Science and Technology, v. 99, p. 612-623, 2020.

[19] GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Anthocyanins: Characterization and measurement. In: WROLSTAD, R. E. (ed.). **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: Wiley, 2001. p. F1.2.1–F1.2.13. DOI: https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00

[20] HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, C.; MORENO, M. E.; CASTAÑEDA, C. Changes in polyphenols and antioxidant activity of cocoa beans during fermentation. Scientia Agropecuaria, v. 10, n. 2, p. 247–256, 2019. DOI: https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.08.

[21] HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, C.; MORENO-ÁLVAREZ, M. J.; SALAZAR, R. **Influence of genetic and environmental factors on cocoa bean quality.** Food Chemistry, v. 255, p. 156-162, 2018.

[22] HO, V. T. T.; ZHAO, J.; FLEET, G. **The yeast ecology of cocoa bean fermentations in Vietnam.** International Journal of Food Microbiology, v. 273, p. 49-57, 2018.

[23] JINAP, S.; DIMICK, P. S.; HOLLANDER, D. G. **Polishing effects on flavour precursors and sensory attributes of cocoa beans.** Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 65, n. 1, p. 75–81, 1994. DOI: https://doi.org/10.1002/jsfa.2740650113

[24] KADOW, D.; NIEMENAK, N.; ROHN, S.; LIEBEREI, R. **Fermentation-like incubations of cocoa seeds.** PLoS ONE, v. 10, n. 2, e0119889, 2015. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119889

[25] KATZ, D. L.; DOUGHTY, K.; ALI, A. **Cocoa and chocolate in human health and disease.** Antioxidants and Redox Signaling, v. 15, n. 10, p. 2779-2811, 2011.

[26] KONGOR, J. E.; HINNEH, M.; DE WALLE, D. V.; AFOAKWA, E. O.; MESSENS, K. **Factors influencing quality variation in cocoa.** Food Research International, v. 82, p. 44-52, 2016.

[27] LIMA, L. J. R.; ALMEIDA, M. H.; NOUT, M. J. R.; ZWIETERING, M. H. **Quality determinants of cocoa beans, with particular reference to fermentation.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 51, n. 8, p. 731–761, 2011. DOI: https://doi.org/10.1080/10408391003799913

[28] MARSEGLIA, A. et al. **Physico-chemical changes in cocoa beans during spontaneous fermentation.** LWT, v. 99, p. 361–367, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.090

[29] MARTÍN, M. A.; RAMOS, S. Health benefits of cocoa flavanols: Evidence from human studies. Nutrients, v. 13, n. 9, p. 2902, 2021.

[30] MARTÍNEZ -VALENCIA, B. B. et al. **Effect of spontaneous micro-fermentation on cocoa beans.** Agro Productividad, 2024. DOI: https://doi.org/10.32854/agrop.v17i5.2794

[31] MELO, T. et al. **Evaluation of the content of bioactive compounds in cocoa beans during the fermentation process.** Journal of Food Science and Technology, v. 58, n. 5, p. 1947-1957, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s13197-020-04706-w.

[32] ORACZ, J.; NEBESNY, E. **Antioxidant properties of cocoa beans fermented under different conditions**. Journal of Food Science and Technology, v. 56, n. 3, p. 1203-1212, 2019.

[33] PAPALEXANDRATOU, Z.; VRANCKEN, G.; DE MAESENEIRE, S. L.; DE VUYST, L. **Multiphasic approach to study the microbial ecology of cocoa bean fermentations.** Applied and Environmental Microbiology, v. 77, n. 23, p. 8434-8444, 2011.

[34] R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.

[35] SCHWAN, R. F. **Cocoa fermentations conducted under controlled conditions.** Food Microbiology, v. 15, n. 1, p. 75–80, 1998. DOI: https://doi.org/10.1006/fmic.1997.0142.

[36] SCHWAN, R. F.; WHEALS, A. E. **The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 44, n. 4, p. 205–221, 2004. DOI: https://doi.org/10.1080/10408690490464104.

[37] SULAIMAN, K. B. **Impact of fermentation duration on the quality of Malaysian cocoa beans using shallow box.** Asia Pacific Journal of Science and Technology, v. 19, p. 74–80, 2014.

[38] TOKER, I.; PALABIYIK, H.; PIROUZIAN, T.; AKTAR, N. **Chocolate aroma: factors, importance and analysis.** Trends in Food Science and Technology, v. 99, p. 580–592, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.035.

Capítulo 6

Formulação de vinagre de álcool com microcápsulas de beterraba (Beta Vulgaris L.)

Érica Farias Santos
Annuska Vieira Cabral
Alan Rodrigo Santos Teles
Alysson Caetano Soares
Gabriela Sousa Silva
Jucenir dos Santos Ferreira
Tatiana Pacheco Nunes
Gabriel Francisco da Silva
Alessandra Almeida Castro Pagani

Resumo: A beterraba (Beta *Vulgaris* L.), possui compostos fitoquímicos, incluindo os ácidos fenólicos e as betalaínas que atuam como antioxidantes. A gelificação iônica é uma técnica que preveni a degradação desses compostos proporcionando maior estabilidade ao produto. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver microcápsulas de beterraba para aplicação em vinagre de álcool, verificando a estabilidade. Foram realizadas as análises pH, sólidos solúveis, acidez titulável, umidade, cor, extrato seco, densidade, acidez volátil, grau alcoólico, betalaína. Com relação ao extrato e a microcápsula os resultados demostraram que houve diferença significativa (p≤0,05) nos parâmetros, de sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável, umidade, cor (L, a*, H). O pH e cor (b* e c) não diferiram significativamente (p≤0,05). Durante o armazenamento o pH esteve constante a partir do 5º dia, a umidade e STT aumentaram, a acidez diminuiu. Para as microcápsulas armazenadas em temperatura ambiente e refrigerada na presença de luz e ausência de luz (CACL, CASL, CRCL e CRSL) os paramentos de cor (L e a*) diminuíram e b* aumentou. Os vinagres enriquecidos com microcápsulas de beterraba em todos os tratamentos (VACL, VASL, VRCL e VRSL) apresentaram diferença significativa no teor de extrato seco, a cor (L) reduziu e (a* e b*) aumentou ao final do armazenamento. Quanto as betalaínas a CRCL e CRSL apresentaram 12,26 mg/100g e 9,97 mg/100g, os VRCL e VRSL apresentaram (10,82 mg/100g) (9,66 mg/100g) destacando entre os demais tratamentos. A técnica de encapsulação em alginato de sódio foi eficiente.

Palavras-chave: beterraba, betalaína, encapsulação, vinagre.

1. INTRODUÇÃO

O vinagre é definido como um fermentado acético produzido pela fermentação alcoólica pela ação das leveduras e acética pela ação de bactérias aeróbias de mateias primas que possui amido e açucares (Parrondo et al., 2003). É utilizado na alimentação com a função de condimentar (conferindo sabor ácido) e conservação de alimentos (evitando crescimento microbiano), sendo este um produto que a indústria não tem atribuído a importância de agregar valor com estudo de desenvolvimento e enriquecimento de produtos (Zoche et al., 2015).

A beterraba (Beta *Vulgaris* L.) é uma hortaliça pertencente à família Chenopodiaceae, que apresenta em sua composição açucares, fibras, vitaminas do complexo B e minerais como potássio, sódio, ferro, cobre, zinco e compostos fitoquímicos, incluindo o ácido ascórbico, carotenoides, ácidos fenólicos, e flavonoides e também por pigmentos conhecido como betalaínas (Clifford et al., 2015). As betalaínas pertencem à classe dos pigmentos naturais nitrogenados, são divididos em betacianinas, responsáveis pela coloração vermelho-violeta e as betaxantinas, de coloração amarelo-laranja (Tivelli, et al., 2011).

As betalaínas além de serem corantes utilizados nos alimentos, apresenta a função de antioxidantes naturais que confere benefícios para a saúde (Zabotti, Genena, 2013). Volp, Renhe e Stringueta (2009) relataram que a betalaína promove proteção contra o estresse oxidativo, como doenças cancerígenas. Outro benefício da betalaína inclui as atividades antivirais e antimicrobianas. Ravichandran et al., 2014 e Ferreira, 2018 relata que encapsulamento melhora consideravelmente a estabilidade de betalaínas e mantêm as propriedades bioativas.

Contudo apesar do grande benefício para saúde, seu uso na indústria alimentícia ainda é restrito, devido à baixa estabilidade relacionado ao pH, temperatura, presença ou ausência de oxigênio e de luz, atividade de água, entre outros (Drunkler, Falcão, Bordignon- Luiz, 2004), e, no entanto, a cor vermelha pode ser modificada (Horst, 2005). Sendo assim, para sua utilização é importante a aplicação de técnicas com efeito protetor para os corantes possibilitando sua utilização em diversos produtos alimentícios como balas, gelados, molhos de salada, misturas para bolos, bebidas em pó, marshmallow doces, e sobremesas de gelatina (Ferreira, 2010), em sorvetes, iogurtes, leites aromatizados, carnes, refrigerantes, pós instantâneos para sobremesa e pudins (Brasil, 1999). Esta proteção dá-se pelo uso do processo de microencapsulação, técnica responsável pela formação de micropartículas onde um composto ativo (compostos de sabor, pigmentos, acidulantes, nutrientes, enzimas, conservantes) é revestido por uma fina camada de outro material protetor, transformado em cápsulas comestíveis. Esta técnica preveni a degradação dos compostos contra a oxidação devido à presença de luz, oxigênio e pH, proporcionando maior estabilidade e vida útil do produto, e possibilitando liberar o encapsulado de maneira controlada (Horst, 2005; Azeredo, 2005; Santos, Trindade, Grosso, 2005), como também é utilizada pelas indústrias alimentícias para mascarar sabores, cores ou odores indesejáveis, e preservar compostos nutricionais (Favaro-Trindade, Grosso, 2008), porém, ainda não foram encontrados dados na literatura sobre o efeito da utilização de microcápsulas de beterraba na conservação e manutenção das características físico-químicas do vinagre. Neste sentido, no presente trabalho foi realizado a avaliação da estabilidade das microcápsulas de beterraba adicionadas no vinagre de álcool, proporcionando características nutricionais e funcionais agregando valor ao produto final.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. VINAGRE

O vinagre é definido como um fermentado acético produzido pela fermentação alcoólica pela ação das leveduras (mateias primas que possui amido e açucares) que transformam os açúcares em etanol e acética pela ação de bactérias aeróbias do gênero Acetobacter que converte o etanol ao ácido acético, originando produto conhecido como vinagre. (Parrondo et al., 2003).

É utilizado na alimentação como condimento, conservante de alimentos (Zoche et al., 2015), atividade antimicrobiana, propriedades cicatrizantes (Oliveira, Godoy, Prado, 2010), no entanto a indústria não tem atribuído a importância de agregar valor a este produto (Zoche et al., 2015).

Em virtude dos consumidores não dá a devida importância às características do vinagre como conservador, antimicrobiano, benéfico contra doenças, entre outros, as indústrias buscam desenvolver novos vinagres com aspectos nutricionais e funcionais agregando valor ao produto e benefício para a saúde, sendo assim o uso da beterraba na produção de vinagre seria uma alternativa para agregação de valor do produto por apresentar alto valor nutritivo (Ferreira, 2010), e compostos bioativos (Clifford et al., 2015).

2.2. BETERRABA

A beterraba (Beta Vulgaris L.) é de origem do sul e do leste da Europa e Norte da África. No Brasil, seu cultivo é intensificado nas regiões sudeste e sul e seu consumo está com aumento no mercado brasileiro. Dentre os cultivares existente o biotipo Early Wonder, também conhecida de (beterraba vermelha ou “de mesa) se destaca como a principal produzida no Brasil (Tivelli et al., 2011; Ferreira, 2010).

É uma hortaliça pertencente à família Chenopodiaceae, possui folhas e raízes que são comestíveis. Apresenta em sua composição alto valor nutricional (tabela 3) e compostos fitoquímicos, incluindo o ácido ascórbico, carotenoides e ácidos fenólicos, como também possui os pigmentos conhecidos como betalaínas (Clifford et al., 2016).

A beterraba contém o silício que é um agente coadjuvante na reestruturação do colágeno, o zinco que auxilia os tecidos cerebrais, o ferro e o cobre que ajudam no desenvolvimento de glóbulos vermelhos, o potássio e manganês que auxiliam no fortalecimento e regulamento das glândulas de secreção interna (Claudino apud Roncheti, 2014, p.22). Apresenta ainda fibras e nitrato que estão associados ao efeito benéfico à saúde humana (Ferreira, 2010). Segundo Clifford et al., (2016), a busca pelo consumo de beterraba tem aumentado devido a quantidade de nitrato presente, que é de fundamental importância para preservar a função endotelial, função imune e metabolismo quando é convertido (*in vivo)* a oxido nítrico.

Com isso devido a disponibilidade imensa dos compostos bioativos presentes na beterraba, é provável que o consumo frequente desses produtos resulte em efeitos positivos para o bem-estar humano. A beterraba é consumida *in natura*, em conservas, como também na forma de corante natural, conhecido como E162 (Clifford et al., 2015) sendo aplicado em sopas desidratadas, iogurtes e catchups (Tivelli et al., 2011), gelatinas, sobremesas, produtos de confeitaria, misturas secas, produtos avícolas, lacticínios e produtos cárneos (Volp, Renhe, Stringueta, 2009). Pode também ser consumida como suco concentrado ou como um lanche, evitando a necessidade de cozinhar antes (Clifford

et al., 2016).

Nesse sentido, devido à busca dos consumidores por alimentos naturais e saudáveis tem despertado o desenvolvimento de alimentos funcionais com a beterraba (Clifford et al., 2016).

2.3. BETALAÍNAS

As betalaínas pertencem à classe dos pigmentos naturais nitrogenados, provenientes pelo metabolismo secundário. São divididos em betacianinas, responsáveis pela coloração vermelho-violeta e as betaxantinas, de coloração amarelo-laranja (Tivelli et al.,2011). Na beterraba a Betanina e a Isobetanina são encontradas dentre as betacianinas existentes, sendo que a betanina consiste em maior porcentagem (75-95%). Já as betaxantinas encontradas na beterraba são as Vulgaxantinas I e II (figura 1) (Ferreira, 2010).

Quimicamente, as betacianinas são formadas pelas agliconas betanidina e isobetanidina (epímero do C-15 da betanidina) (Drunkler, Falcão, Bordignon Luiz, 2004). As betalaínas se originam a partir da síntese do ácido betalâmico seguido de um radical R1 ou R2, onde esses radicais que podem ser substituídos por um hidrogênio a um complexo substituinte. Daí a variação dessa substituição determina o tom de cor desses pigmentos e sua estabilidade. Neste sentido é que as betalaínas possuem duas classes de pigmentos (betacianinas e betaxantinas) (Volp, Renhe, Stringueta, 2009).

2.4. MICROENCAPSULAÇÃO

Microencapsulação é uma técnica de revestimento fino que formam partículas ou gotículas líquidas e gasosas em cápsulas que conseguem controlar a liberação de seu conteúdo sobre condições características (Fávaro-Trindade, Grosso, 2008). É um processo no qual um material, chamado formador de parede (encapsulante) é utilizado para recobrir outro material (recheio ou núcleo), formando uma capsula com o intuito de agregar maior vida de prateleira do produto (Shahidi, Han, 1993).

Os alginatos são hidrocolóides, pertencente à família a classe Phaeophyceae, são obtidos de algas marinhas castanha no qual exerce função na estrutura das paredes celulares e estão presentes largamente na natureza (Santos, 2012).

Os alginatos são polissacarídeos hidrofílicos que apresentam boa solubilidade em meio aquoso, e favorece melhor dispersão do soluto e uma formação mais homogênea do filme (Assis, 2014). Podem criar um ambiente com características apropriadas (ambiente ácido) na superfície do alimento, contribuindo com o efeito dos ácidos orgânicos utilizados como conservantes (Azeredo, 2005). Possui capacidade de retenção de água, características gelificantes e estabilizantes e (Santos, 2012).

Desta forma é viável o uso da microencapsulação com alginato para preservar as características funcionais da betalaína, e assim desenvolver um produto bioativo e inovador aos consumidores.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATERIAL

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologias Alternativas (LTA) e no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Sergipe, Campus de São Cristóvão.

4.1.1. MATÉRIA PRIMA

As beterrabas e o vinagre foram adquiridos em comércio local na cidade de Aracaju, Sergipe. As beterrabas foram lavadas em água e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 15 min. Posteriormente, realizou-se o enxague com água destilada para remoção o excesso de sanificante. Após a sanitização, as beterrabas foram processadas em centrífuga juicer (CF-02) para obtenção do extrato concentrado.

4.2. MÉTODOS

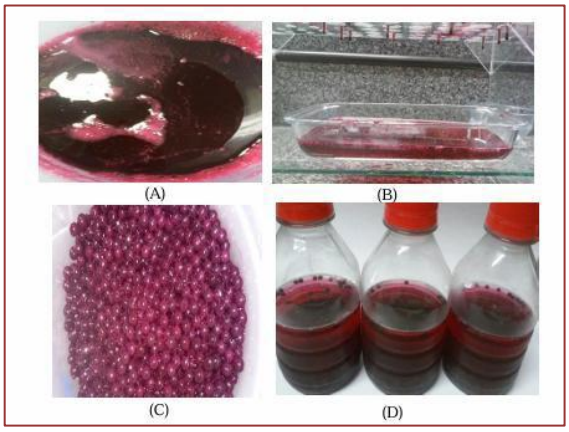
4.2.1. OBTENÇÃO DOS EXTRATOS DE BETERRABA

As Beterrabas foram processadas em centrifuga sem adição de água e foi filtrado com auxílio de peneira para a remoção de partes grosseiras e impurezas. Em seguida foi realizado a microencapsulação.

4.2.2. OBTENÇÃO DAS CÁPSULAS DE EXTRATO DE BETERRABA

As cápsulas de extrato de beterraba foram obtidas através da técnica de gelificação iônica. Para o processo de gelificação iônica foi empregada a metodologia de gotejamento, no qual foram preparadas duas soluções. A solução 1 foi preparada com alginato de sódio (2,0%) e extrato de beterraba com auxílio de um mix (Mondial, Modelo NM-03) até completa homogeneização. Para a solução 2 foi preparada uma solução aquosa com concentração de 1% de cloreto de cálcio, sob agitação manual, para ocorrer diluição. A solução 1 foi sugada por uma seringa de 25 mL e gotejada sobre a solução 2, formando a cápsula de beterraba que posteriormente foram lavadas e drenadas com auxílio de uma peneira para a retirada de resíduos da solução 2. Em seguida as microcápsulas foram adicionadas em 100 mL de vinagre de álcool em garrafas pet (figura 1) armazenadas em temperatura ambiente (24°C) e refrigerada (5°C) durante 30 dias. Os vinagres foram armazenados em 4 tratamentos: temperatura ambiente na presença (VACL) e ausência (VASL) de luz e refrigerada na presença (VRCL) e ausência (VRSL) de luz.

Figura 1: Processamento vinagre enriquecido com microcápsulas de beterraba. (A) Extrato obtido; (B) Gotejamento da solução 1 na solução 2; (C) Microcápsulas de beterraba; (D) Produto final



Fonte: Autoria Própria.

4.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

As análises de pH, sólidos solúveis, acidez titulável, teor de umidade, cor, teor de betalaína, foram realizadas nas microcápsulas e no vinagre. Enquanto o extrato seco total, densidade, teor alcoólico foram realizadas apenas no vinagre.

4.3.1. TEOR DE BETALAÍNA

Para quantificação das betalaínas, foi utilizado 1 g da amostra e homogeneizou-se em água e transferiu para um balão volumétrico de 100 mL e completou-se o volume. Posteriormente filtrou-se as amostras com o auxílio de bomba a vácuo com papel filtro Whatman nº1, e realizou-se a leitura a 734nm em espectrofotômetro (UV-2601 Rayleígh) e, em triplicata. A quantificação das betalaínas foi realizada de acordo com Lei de Beer Lambert- Bougue, modificada por Tang e Norziah (2007) pela equação 1. Os resultados foram expressos em gráficos.

$$B_c = \frac{A*PM*1000}{\varepsilon*l} \qquad \text{(Equação 01)}$$

Onde: Bc = equivalente em betanina (mg / L) A = λmax a 536 nm PM = peso molecular da betanina (550 g / mol) ε = coeficiente molar de excitação da betanina (60.000 L / mol.cm) l = largura da cubeta (1 cm) 1000 fator de diluição.

4.3.2. pH

Foi determinado pela metodologia descrita por Adolfo Lutz (2008). Para a microcápsula foi pesado 5 g da amostra e diluído com 50 mL de água, e realizou-se a leitura com o auxílio de um pHmetro digital. Para o vinagre foi realizada a leitura direta em 10 mL.

4.3.3. SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS

Foi realizado pelo refratômetro digital Refratômetro de Abbé, de acordo com metodologia Adolfo Lutz (2008).

4.3.4. ACIDEZ TITULÁVEL

A acidez titulável foi determinada conforme as normas do Adolfo Lutz (2008). Pesou se 5 g da amostra um frasco Erlenmeyer, diluído com 50 mL de água e posteriormente adicionou 3 gotas da solução fenolftaleína e titulou com solução de hidróxido de sódio 0,1 M até apresentar o pH 8,2. O cálculo de acidez foi realizado de acordo com a equação 2:

$$Acidez\ (g\ ác.cítrico\ 100g) = v * N * f * 0{,}064 * 100 / P \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde: V: volume em ml da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação N: normalidade da solução de hidróxido de sódio P: peso da amostra F: fator de correção da normalidade.

4.3.5. ANÁLISE DE COR

Os parâmetros de cor foram avaliados com auxílio do calorímetro Minolta CR-10, medindo-se os parâmetros L*, a*; b*; C; *H (Menezes, 2012).

4.3.6. ACIDEZ VOLÁTIL

A determinação de acidez volátil foi realizada pelo método descrito por Adolfo Lutz (2008). A amostra (10mL) foi diluída com água destilada e transferido para um balão volumétrico de 250 mL completando-se até o menisco. Posteriormente 10 mL da amostra foi transferida par o destilador de nitrogênio TE.0363 e recolheu-se 100 mL do destilado em um frasco Erlenmeyer de 250 mL, em seguida foi adicionado 3 gotas de solução de indicador fenolftaleína na amostra e titulou-se com solução de hidróxido de sódio (0,1M) até coloração rósea persistente por 30 s. O resultado foi expresso em g de ácido acético por 100 mL da amostra pela equação 3.

$$Acidez\ volátil\ \frac{g\ de\ ác.acético}{100ml\ de\ amostra} = \frac{n*N*Eq*f}{10*V} \qquad \text{(Equação 3)}$$

Onde: n = volume de solução de hidróxido de sódio gastos na titulação [mL] N = normalidade da solução de hidróxido de sódio Eq = equivalente grama de ácido acético [60], f = fator de diluição [diluição 20:500, f = 25] V = volume de amostra no preparo [mL].

4.3.7. DENSIDADE RELATIVA A 20 °C

A densidade foi determinada pela metodologia descrita por Adolfo Lutz (2008), no qual o picnômetro foi lavado com álcool e pesado vazio. Em seguida foi pesado com água e posterior pesado com a amostra (vinagre). A equação 5 expressa o valor da densidade.

$$Densidade = \frac{m_{am} - m_p}{m_{H20} - m_p} \qquad \text{(Equação 5)}$$

Onde: m am = massa do picnômetro com a amostra m, p = massa do picnômetro vazio, m H 2O = massa do picnômetro com a água

4.3.8. TEOR ALCOÓLICO

O teor de álcool foi determinado a partir da densidade a 20 ºC, no qual se realizou a conversão da densidade relativa para o teor alcoólico (%) em peso com auxílio de tabela de conversão. O grau alcoólico foi expresso em % volume a 20 ºC (Adolfo Lutz, 2008).

4.3.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados experimentais das amostras foram realizados com em triplicatas. Os resultados foram avaliados utilizando o software Assistat®, versão 7.7 beta (Silva, 2015) aplicando o Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para detecção de diferenças de médias e o extrato e as microcápsulas de beterraba recém-processadas e, para detecção de diferenças de médias dos componentes dos vinagres do vinagre enriquecido com microcápsulas de beterraba armazenado em embalagens pet a temperatura ambiente (24°±1 C) e sob refrigeração durante 30 dias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DO EXTRATO E DAS MICROCÁPSULAS DE BETERRABA

Analisando os resultados na Tabela 1 verifica-se que houve diferença significativa (p >0,05) entre o extrato e a microcápsula em alguns dos parâmetros físico químicos. Os valores obtidos de pH para o extrato foi de 6,01 e da microcápsula foi de 5,91 que não diferiram significativamente (p >0,05), esses valores estão de acordo encontrados por Ferreira (2018) que relata o pH de extrato (5,92) e para a microcápsula (5,97) em seu estudo de microencapsulação de extrato de beterraba. O pH é um fator relevante para verificar a estabilidade da betalaína, que possui estabilidade na faixa de pH entre 3 a 7, sendo que entre pH 4 e 5 está sua estabilidade ótima (Volp, Renhe, Stringueta, 2009).

O teor de sólidos solúveis (SST) para o extrato foi de 7,26 e para microcápsulas foi 5,63, no qual apresentaram diferença significativa (p >0,05) entre si. Essa diminuição de SST também foi analisado por Xavier (2016), em seu estudo com pérolas de polpa de maracujá obtidas por gelificação iônica, que reporta ter ocorrido essa redução devido a microcápsula ser submergida em solução de cloreto de cálcio e posteriormente na água, para retirada do excesso cloreto de cálcio na microcápsula. Quanto a acidez titulável foi analisado que o extrato apresentou menor acidez em relação a microcápsula, apresentando diferença estaticamente. Valores inferiores foram encontrados por Ferreira (2018) em microcapsulas de extrato de beterraba. Em relação ao teor de umidade foi verificado um aumento na microcápsula em comparação com o extrato, apresentando discrepância significativa (p >0,05). Este aumento é justificado pelo fato da microcápsula possivelmente ter absorvido água na etapa de imersão em água. Para o teor de cinzas verifica-se que não há diferença significativa (p >0,05) entre o extrato e a

microcápsula, resultado também relato por Ferreira (2017) em seu estudo de microencapsulação de extrato de beterraba, portanto esses resultados mostram que o alginato não interferiu na quantificação do teor de cinzas.

Tabela 1: Caracterização física química do extrato e das microcápsulas de beterraba

Características	Extrato	Microcápsulas
pH	6,01 ± 0,03a	5,91± 0,226a
Sólidos solúveis (ºBrix)	7,26 ± 0,06a	5,63 ± 0,071b
Acidez titulável (g de ácido cítrico/100g)	0,41± 0,01b	0,46 ± 0,02a
Umidade (%)	93,34 0,11a	95,948 ± 0,055b
Cor (L)	30,23 ± 0,37a	28,16 ± 0,30b
Cor (a*)	8,4 ± 0,14a	3,95 ± 0,21b
Cor (b*)	10,93 ± 0,80a	10,10 ± 0,01a
Cor (c*)	14,10 ± 0,28a	13,12 ± 0,49a
Cor (H)	53,30 ± 1,55a	68,60 ± 0,64b
Betalaína (mg/100g)	72,40 ± 0,40a	21,09 ± 0,36 b

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Os parâmetros de cor L* para o extrato (30,23) apresentou valor maior em relação a microcápsula (28,16), visto que houve diferença significativa (p >0,05). Para o parâmetro a* do extrato (8,4) e microcápsula (3,95) também foi analisado que diferiram significativamente (p >0,05). Verifica-se que houve queda nos parâmetros de cor L* e a* na microcápsula, essa diminuição pode ser justificada pela perda do teor de betalaína. Este comportamento citado acima está em concordância com Ferreira (2017), que analisou em seu estudo de microcápsula de beterraba.

Os parâmetros de cor b*e c* não houve diferença significativa, o que mostra que a técnica de encapsulação com alginato não interferiu no resultado. Enquanto para o parâmetro H*, microcápsula (68,60) apresentou aumento significativo em relação ao extrato (53,30), este fato corresponde a possível degradação da betalaína que pode ter ocorrido durante a sanitização ocasionado a redução do teor de betalaína, já que a mesma é bastante solúvel em água (Volp, Renhe, Stringueta, 2009), e em decorrência dessa perda possivelmente tenha detectado a presença de betaxantinas, que constitui coloração amarela (Tivelli et al., 2011). Em relação ao teor de betalaína foi verificado uma redução significativa entre o extrato (72,40 mg/100g) e a microcápsula (21,09 mg/100g). O valor do extrato foi superior ao determinado por Zabotti (2013), em beterraba não branqueada, no entanto tanto do extrato como da microcápsula os valores foram inferiores ao encontrado por Ferreira et.al (2017). A redução do pigmento betalaína na microcápsula possivelmente ocorreu devido a migração quando houve contato com a água no seu processo de obtenção. Os teores de compostos fenólicos do extrato e microcápsula apresentaram diferença significativa (p >0,05), que se mantiveram em desacordo com os valores encontrados por Ferreira (2017), em seu estudo de gelificação de extrato de beterraba.

Isto pode ser explicado pela variação das características do vegetal como a variedade, grau de maturação, dentre outros. Outra justificativa é possivelmente devido a perda do pigmento betalaína durante o processo de gelificação.

Para atividade antioxidante, verificou-se diminuição entre os valores obtidos no extrato (47,61 µmol TEAC/g de amostra seca) e na cápsula (4,92 µmol TEAC/g de amostra seca). Estes resultados foram superiores ao encontrado por Clifford Georgiev (2010), em seu estudo de beterraba (4.100 µMTE / g de extrato seco). Houve diferença significa entre o extrato e a cápsula. A redução pode ter ocorrido possivelmente em função da perda de betalaína, já que a betalaína atua como antioxidante natural, como fenólicos que são compostos antioxidantes.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO VINAGRE ENRIQUECIDO CÁPSULAS DE BETERRABA DURANTE O ARMAZENAMENTO

A caracterização do vinagre enriquecido com microcápsulas de beterraba foi realizada no período de 30 dias sob temperatura ambiente (24±1°C) e refrigerada (5±1°C) na presença e na ausência de luz. As análises foram realizadas nas microcápsulas e no vinagre separadamente.

5.3. PH

Os valores de pH das microcápsulas submetidas em temperatura ambiente na presença de luz (CACL) e na ausência de luz (CASL) variaram entre 3,12 a 3,59. Não houve diferença significativa D para as microcápsulas durante o tempo de armazenamento, exceto para o tempo de 5 e 10 dias que apresentaram discrepância significativa ($p \leq 0,05$) em relação aos demais dias. Os valores de pH dos vinagres submetidos em temperatura ambiente na presença de luz (VACL) e na ausência de luz (VASL) apresentaram variações entre 2,43 a 3,42, sendo superiores ao valor descrito pela ANAV que apresenta o pH de 2,31 para vinagre de álcool. Os devidos vinagres apresentaram declínio do pH a partir de 10 dias que se mantiveram com valores próximo durante o tempo de armazenamento. Quanto aos vinagres submetidos refrigeração na presença de luz (VRCL) e na ausência de luz (VRSL) não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) nos dias 10, 20, 25 e 30. Enquanto que no dia 5 tanto as microcápsulas como o vinagre diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) quanto aos outros dias de armazenamento. Os valores de pH das microcápsulas e vinagres apresentaram que se mantiveram em valores aproximados nos dias 10,15,20,25 2 30, obtendo um equilíbrio entre os dois componentes durante o tempo de armazenamento.

Os resultados obtidos demonstram que os vinagres são bastante ácidos o que contribui para seu uso como agente antimicrobiano impedindo a deterioração por micro-organismos e manter a estabilidade do produto (Oliveira et al., 2006).

Tabela 2: Resultados de pH das cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias

Tempo (dias)	Tratamentos			
	CACL	CASL	CRCL	CRSL
0	5,46 ± 0,31a	5,46 ± 0,31a	5,46 ± 0,31a	5,46 ± 0,31a
5	3,59 ± 0,04b	3,57 ± 0,04b	3,72 ± 0,02a	3,66 ± 0,06ab
10	3,41 ± 0,02ab	3,36 ± 0,02bc	3,38 ± 0,04a	3,32 ± 0,02c
15	3,33 ± 0,01a	3,33 ± 0,01a	3,35 ± 0,09a	3,39 ± 0,02a
20	3,60 ± 0,04a	3,55 ± 0,04a	3,51 ± 0,04a	3,53 ±0,02a
25	3,27 ± 0,61a	3,51 ± 0,02a	3,53 ± 0,01a	3,46 ±0,07a
30	3,50 ± 0,02a	3,37 ± 0,08a	3,41 ± 0,07a	3,47 ±0,03ª

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

*CACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; CASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; CRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; CASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

Tabela 3: Resultados de pH do vinagre enriquecido com cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias

Tempo (dias)	Tratamentos			
	VACL	VASL	VRCL	VRSL
0	2,43 ± 0,01a	2,43 ± 0,01a	2,43 ± 0,01a	2,43 ± 0,01a
5	3,31 ± 0,07b	3,39 ± 0,02ab	3,35 ± 0,02ab	3,42 ± 0,01a
10	3,12 ± 0,02a	2,93 ± 0,03b	3,01 ± 0,01ab	3,01 ± 0,08ab
15	3,19 ± 0,02ab	3,32 ± 0,03a	3,10 ± 0,09bc	3,05 ± 0,01c
20	3,13 ± 0,02a	3,12 ± 0,02a	3,01 ± 0,00b	3,03 ±0,00b
25	3,12 ± 0,04a	3,10 ± 0,06a	3,03 ± 0,03a	3,09 ±0,01a
30	3,14 ± 0,28a	3,03 ± 0,05a	2,99 ± 0,05a	2,97 ±0,03a

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

VACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; VASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; VRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; VASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

Os teores de sólidos solúveis nas microcápsulas sob temperatura ambiente variaram entre 1,36 °BRIX a 5,56 °BRIX, que mantiveram valores semelhantes ao encontrado por Kluge et al., (2006), em beterraba minimamente processadas em retalhos. Nos tempos 5 e 25 apresentaram diferença significativa entre si (p≤0,05) descrito na tabela 4. Houve redução da quantidade de sólidos solúveis durante o armazenamento.

Tabela 4: Resultados do teor de sólidos solúveis (ºBrix) das cápsulas de beterraba submetidas a temperatura ambiente (24° C) e de refrigeração (5° C) em embalagens pet e armazenado por 30 dias

Tempo (dias)	Tratamentos			
	CACL	CASL	CRCL	CRSL
0	5,56 ± 0,11a	5,56 ± 0,11a	5,56 ± 0,11a	5,56 ± 0,11a
5	1,36 ± 0,05b	3,36 ± 0,11a	3,4 ± 0,17a	3,13 ± 0,05 a
10	4,33 ± 0,57a	5,33 ± 0,57a	4,33 ± 0,57a	4,33 ± 0,57a
15	3,03 ± 0,05ab	3,07 ± 0,05ab	2,33 ± 0,57b	3,66 ± 0,57a
20	4,7 ± 0,51a	5,33 ± 0,57a	4,33 ± 0,57a	5,00 ±1,00a
25	4,66 ± 0,57ab	5,00 ± 1,00a	4,33 ± 0,57ab	3,03±0,05b
30	2,03 ± 0,05b	2,03 ± 0,05b	2,66 ±0,05ab	3,03±0,05a

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

*VACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; VASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; VRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; VASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

Para o vinagre enriquecido com microcápsulas de beterraba a temperatura ambiente na presença de luz (VACL) e com abrigo de luz (VASL) foi verificado diferença significativa nos dias 5, 25 e 30 no armazenamento (tabela 5). Também foi analisado a migração dos sólidos solúveis a partir do 5 dia de armazenando, sendo que o VACL e VASL apresentaram aumento de °BRIX durante o período de estocagem. Esta migração dá-se pela propagação dos sólidos solúveis totais que ocorrem exponencialmente em compostos encapsulados envasados em água ou em um meio de diferente ao o interior do encapsulado (Lozano, 2010).

Tabela 5: Resultados de sólidos solúveis (ºBrix) do vinagre enriquecido com cápsula de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias

Tempo (dias)	Tratamentos			
	VACL	VASL	VRCL	VRSL
0	2,66 ± 0,05a	2,66 ± 0,05a	2,66 ± 0,05a	2,66 ± 0,05a
5	3,36 ± 0,10b	3,16 ± 0,23ab	3,1 ± 0,1ab	3,03 ± 0,05a
10	3,26 ± 0,15a	3,16 ± 0,11a	3,2 ± 0,1a	3,13 ± 0,05a
15	2,96 ± 0,11a	3,36 ± 0,05a	3,13 ± 0,05a	3,03 ± 0,05a
20	3.65 ± 0,02c	3,65 ± 0,05a	3,60 ± 0,08ab	3,66 ± 0,05bc
25	3,33 ± 0,57a	3,2 ± 0,1ab	3,16 ± 0,57ab	3,06 ± 0,05b
30	3,06 ± 0,05c	3,30 ± 0,05a	3,20 ± 0,00b	3,1 ± 0,00c

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

*VACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; VASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; VRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; VASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

Enquanto para o vinagre enriquecido com microcápsulas de beterraba sob temperatura refrigerada na presença de luz (VRCL) e com abrigo de luz (VRSL) foi verificado diferença significativa nos dias 25 e 30 de estocagem tanto para as microcápsulas quanto para o vinagre. No dia 5 analisou-se a migração do teor de sólidos solúveis (°BRIX), chegando a equilíbrio entre os componentes. Segundo Lozano, 2010 é possível verificar pelas as análises de pH e °BRIX a migração de sólidos solúveis e íons H + através dos encapsulados, este fenômeno ocorre pela transferência dessas partículas presente no encapsulamento para o exterior e assim poder chegar para um equilíbrio entre os dois componentes.

Para o teor de acidez titulável (ATT) foi possível observar para as microcápsulas de beterrabas submetidas a temperatura ambiente e refrigerada neste trabalho foi analisado o aumento da acidez expressa em ácido cítrico durante o período de armazenamento com diminuição do pH. Nos dias 15, 20 e 25 não apresentaram discrepância significativa ($p \leq 0,05$) com o armazenamento como descrito na tabela 6.

Verifica-se que em relação ao produto a acidez diminui com o armazenamento, este comportamento pode ter ocorrido devido a degradação dos ácidos orgânicos da beterraba, sendo assim essa decomposição reduz o teor de acidez do produto aumentando o pH das microcápsulas. Resultados semelhantes foi reportado por Xavier (2016), em seu trabalho de pérolas de maracujá obtidas por gelificação iônica armazenadas a 5 ± 1°C.

Tabela 6: Resultados de acidez titulável total (g de ácido cítrico/100g) das cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias

Tempo (dias)	Tratamentos			
	CACL	CASL	CARCL	CRSL
0	0,45± 0,02a	0,45± 0,02a	0,45± 0,02a	0,45± 0,02a
5	1,54 ± 0,00c	2,21 ± 0,00a	1,57 ± 0,02c	2,05 ± 0,06b
10	1,75 ± 0,06b	2,16 ± 0,10a	1,82 ± 0,03b	1,89 ± 0,02b
15	1,60 ± 0,13a	1,39 ± 0,77a	1,44 ± 0,03a	1,72 ± 0,03a
20	1,39 ± 0,00a	1,35 ± 0,05a	1,38 ± 0,00a	1,37 ± 0,01a
25	1,49 ± 0,05a	1,41 ± 0,05a	1,41 ± 0,07a	1,51 ± 0,00a
30	1,54 ± 0,00b	1,82 ± 0,06a	1,77 ± 0,02a	1,81 ± 0,07a

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

VACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; VASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; VRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; VASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

Os valores de acidez volátil dos vinagres (tabela 10) de álcool enriquecido com microcápsulas de beterraba a temperatura ambiente e refrigerada (VACL, VASL, VRCL e VRSL) encontrados estão na faixa de (2,0 ± 0,08) a (3,5 ± 0,17) em g. mL-1 como descrito na tabela 7. Esses resultados foram semelhantes ao encontrados em vinagres de laranja com mel (2,53 ± 0,000), laranja (2,74 ± 0,07), tangerina com milho (3,47 ± 0,081), manga (3,28 ± 0,215), kiwi (3,10 ± 0,07), cana-de-açúcar com milho (3,17 ± 0,07) mencionados por Marques (2008). Zoche et al., (2015), verificou em seu estudo que os vinagres obtidos por fermentação espontânea apresentaram valores abaixo do permitido pela legislação, assim como observado no presente estudo. Estes resultados expressos demostram que os teores de acidez volátil encontrados estão abaixo do valor exigido pelo regulamento de os padrões de identidade e qualidade do vinagre de álcool que é no mínimo 4g de acidez expressa em ácido acético (g/100ml).

Tabela 7: Resultados de acidez volátil (g de ácido acético por 100 g) do vinagre enriquecido com cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias

Tempo (dias)	Tratamentos			
	VACL (%)	VASL (%)	VRCL (%)	VRSL (%)
0	3,61 ± 0,02a	3,61 ± 0,02a	3,61 ± 0,02a	3,61 ± 0,02a
5	2,35 ± 0,08b	2,9 ± 0,08a	3,05 ± 0,08a	3,1 ± 0,17a
10	2 ± 0,08b	3,4 ± 0,17a	3,25 ± 0,22a	2,3 ± 0,17b
15	2,2 ± 0,17b	2,8 ± 0,56a	2,45 ± 0,08ab	2,25 ± 0,25b
20	2,75 ± 0,08b	2,45 ± 0,08b	2,6 ± 0,08b	3,25 ± 0,22a
25	2,3 ± 0,08d	3,1 ± 0,08b	3,4 ± 0,08a	2,6 ± 0,08c
30	2,9 ± 0,17b	2,9 ± 0,08b	3,3 ± 0,3ab	3,5 ± 0,17a

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

VACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; VASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; VRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; VASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

O teor de umidade para as microcápsulas foi de 92,19% (tempo 0) e variaram de 92,6% a 93,8% no tempo 30 (tabela 11), no entanto observa-se um leve aumento de teor de umidade no armazenamento. Esse aumento da umidade segundo Xavier (2016), pode ter ocorrido devido a etapa de processamento da microcápsula que é obtida pela imersão em água a qual pode ter ocasionado absorção pelo produto final.

As amostras de vinagre apresentaram variação de densidade entre 1,00146 a 1,0118, sendo obtida 0% de álcool com a conversão da densidade relativa a 20º em porcentagem de Na tabela 8 encontra-se os valores do parâmetro de cor dos componentes do vinagre. O parâmetro de cor L nas microcápsulas armazenada em temperatura ambiente variaram de 11,13 a 32,40 no qual apresentou um aumento do valor nos 15 primeiros dias de armazenamento para a capsula na presença de luz (CACL), ocorrendo decréscimo a partir do dia 20 até o dia 30, indicando assim coloração escura, isto pode ser justificado pela variação que o parâmetro L possui (0 A 100), que quanto menor o valor de L mais escura será a cor. Já para cápsula ausência de luz (CASL) apresentou aumento no dia 5 e 15 de armazenamento, apresentando coloração mais clara.

Enquanto para as microcápsulas armazenada em temperatura refrigerada na presença (CRCL) e ausência de luz (CRSL) houve redução do parâmetro L nos dias (10,15,20,25 e 30) de armazenamento, enquanto no dia 5 foi obtido o melhor resultado.

Não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cápsulas no tempo 10 para o parâmetro L.

Quanto ao parâmetro a* todas as microcápsulas apresentaram pigmentos vermelhos, que indica presença de betacianina. No entanto para a CACL e CASL apresentaram redução no dia 10. A CRSL apresentou redução no pigmento nos dias 10,15 e 20. Isto pode ter ocorrido devido a degradação da betalaína com as condições do meio (temperatura luz, presença de oxigênio).

Verificou-se também que os valores de b* aumentaram durante o armazenamento no tratamento CACL e para a CASL houve aumento nos dias 20 25 e 30 de armazenamento. CRCL e CRSL também apresentaram aumento ao final do armazenamento (25 e 30 dias).

Este aumento possivelmente pode ter ocorrido devido a presença de carotenoides que confere coloração amarela. Comportamentos assim foram encontrados por Ferreira (2018) em seu estudo de microcápsula de beterraba.

Tabela 8: Resultados dos parâmetros de cor (L, a*, b*, c*, H) dos componentes do vinagre enriquecido com cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias

	TEMPO (DIAS)							
TRATAMENTO	**0**		**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**
	L*	30,73±1,17a	32,13±0,72a	31,06±1,30a	32,1±0,00a	29,76±1,27a	12,1±0,51b	14,56±0,98a
	a*	2,16±0,05a	2,63±0,77a	1,4±0,3a	4,13±0,28a	3,766±0,11a	7,53±0,23a	6,43±0,51a
CACL	b*	11,76±0,15a	12,33±0,41ab	12,0±0,2a	12,36±0,57a	12,43±0,73a	18,36±0,40ab	19,36±0,70a
	c*	11,93±0,20a	12,73±0,30ab	12,03±0,25a	13,03±0,63a	12,86±0,94a	20,43±1,59a	20,43±0,49a
	H	79,6±0,17a	79,76±1,15a	83,36±1,39a	73,66±0,63a	73,66±0,40b	68,4±1,21b	72,43±0,75bc
	L*	30,73±1,17a	32,40±0,80a	29,83±0,25a	32,4±0,17a	29,56±0,75a	16,33±0,25a	13,83±0,92a
	a*	2,16±0,05a	1,46±0,26a	1,4±0,37a	3,43±0,63a	1,6±0,17b	6,86±0,05a	5,5±0,17b
CASL	b*	11,76±0,15a	11,66±0,36a	11,43±0,15ab	11,76±0,11a	12,13±0,46ab	19,76±1,40a	19,23±0,23a
	c*	11,93±0,20a	11,8 ± 0,35a	11,5 ± 0,2ab	12,26±0,05ab	12,23±0,46A	21,03±1,56a	19,96±0,28a
	H	79,6±0,17a	83,8 ± 1,06a	82,93±0,34a	72,16±0,11a	83,33 ±1,15a	69,1 ± 0,34b	74,06±0,23a
	L*	30,73±1,17a	31,72±0,71a	29,3±0 ,3a	28,87±0,5a	28,87±0,05a	11,13±0,05c	13,13±0,28a
	a*	2,16±0,05a	3,13±0,11a	1,4±0,26a	3,46±0,46a	3,46±0,46a	4,63±0,11c	6,23±0,23ab

Tabela 8: Resultados dos parâmetros de cor (L, a*, b*, c*, H) dos componentes do vinagre enriquecido com cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias. (continuação)

TEMPO (DIAS)								
TRATAMENTO	**0**		**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**
CRCL	b*	11,76±0,15a	11,86 ± 0,11b	11,43±0,05b	11,0±0,00a	11,00±0,00b	16,93±0,11b	18,9±1,1a
	c*	11,93±0,20a	12,33±0,31b	11,5±0,1b	11,6±0,17b	11,6±0,17	18,13±1,44a	19,8±0,98a
	H	79,6±0,17a	75,43±0,46a	82,93±1,44a	73,3±2,71a	73,3±2,71b	74,2±0,72a	73,03±0,05ab
	L*	30,73±1,17a	32,5±0,43a	29,46±0,15a	29,4±0,3a	29,4±0,30a	12,8±0,34b	12,3±1,10a
	a*	2,16±0,05a	3,2±0,00a	1,53±0,46a	1,9±0,32a	1,9±0,517b	5,67±0,57b	6,06±0,28ab
CRSL	b*	11,76±0,15a	12,2±0,26ab	11,61±0,00b	11,56±0,11a	11,57±0,11ab	18,6±1,01ab	18,3±0,70a
	c*	11,93±0,20a	12,46±0,05ab	11,7±0,17ab	11,65±0,07ab	11,65±0,07a	19,6±0,72a	19,16±0,92a
	H	79,6±0,17a	75,3±0,4a	82,4±2,71a	80,5±0,866a	80,5±0,86a	73,6±1,38a	71,6±0,17
	L*	45,43±0,80a	45,7±0,34a	32,36±1,2a	37,33±0,05a	41,96±1,15a	36,8±1,55b	26,53±0,23c
	a*	7,9±0,1a	1,66±023c	2,1±0,28c	8,03±2,71a	16,16±0,23c	14,63±0,77b	11,76±0,05c
VACL	b*	8,96±0,23a	12,0±0,3a	13,26±0,5a	12,53±0,28a	12,26±0,57b	13,67±0,28a	21,03±0,40ab
	c*	11,86±0,87a	12,2±0,34a	13,46±0,5a	15,43±0,80a	20,66±0,15b	19,43±1,05a	22,83±0,57ab
	H	50,06±0,46a	82,13±0,92a	80,6±0,91a	52,93±0,11a	36,46±2,13b	46,33±1,09b	67,73±0,23b
	L*	45,43±0,80a	46,23±0,30a	32,16±0,87a	37,46±0,63a	42,86±0,75a	37,26±1,27ab	31,76±0,05b
	a*	7,9±0,1a	1,9±0,17c	2,76±0,05b	8,63±0,05a	14,46±0,55c	7,13±0,05c	5,96±0,28d
VASL	b*	8,96±0,23a	11,86±0,05a	12,20±0,36ab	14,16±1,44a	17,3±0,17c	13,8±0,17a	23,7±3,46a
	c*	11,86±0,87	12,06±0,05	12,6±0,43ab	17,16±0,22a	18,33±0,57c	17,36±1,06a	22,6±0,69ab
	H	50,06±0,46a	81,16±0,80a	76,8 3±0,57b	61,4±2,42a	72,36±0,05a	54,0±1,54a	77,56±0,05a
	L*	45,43±0,80a	43,5±0,4b	29,1±0,6a	32,06±0,37b	36,53±0,92b	35,3±1,38b	24,03±0,11d
	a*	7,9±0,1a	6,43±0,46a	3,46±0,29a	13,13±3,17a	28,27±0,98a	17,73±1,81a	18,03±0,05a

Tabela 8: Resultados dos parâmetros de cor (L, a*, b*, c*, H) dos componentes do vinagre enriquecido com cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias (continuação)

	TEMPO (DIAS)							
TRATAMENTO	**0**		**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**
VRCL	b*	8,96±0,23a	9,9±0,26b	10,83±0,50c	8,66±0,23b	2,2±0,17a	6,93±0,45c	12,63±0,15c
	c*	11,86±0,87a	12,13±0,72a	11,53±0,25c	15,06±1,36a	28,3±1,03a	19,6±1,44a	22,17±0,11b
	H	50,06±0,46a	57,37±1,32b	73,96±0,28c	36,5±2,25b	13,1±0,00d	18,16±1,96d	39,66±0,11d
	L*	45,43±0,80a	43,56±0,66a	28,10±0,17a	32,93±0,75a	36,73±0,57a	41,66±2,36b	34,6±0,51a
	a*	7,9±0,1a	5,43±0,23a	2,03±0,05a	13,13±3,13a	21,20±1,08a	13,53±0,92a	15,96±080a
VRSL	b*	8,96±0,23a	9,43±0,41ab	11,4±0,17a	9,13±0,11a	6,63±0,40a	9,86±0,76ab	17,36±0,90a
	c*	11,86±0,87a	11,00±0,60ab	11,63±0,20 a	16,20±0,34a	22,33±1,00a	16,83±1,09a	23,7±0,17a
	H	50,06±0,46a	58,66±1,51a	79,56±0,28a	34,90±0,17a	16,40±0,86b	36,73±0,05b	49,73±0,05bc

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

VACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; VASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; VRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; VASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

Para os vinagres dos tratamentos VACL, VASL foi verificado redução do parâmetro L no período final de armazenamento (30) e VRCL e VRSL no tempo 10 dias, o que indica coloração escura. O VASL apresentou aumento de a* nos dias 15, 20 e 25, enquanto para o VACL a partir do dia 15 até o tempo final (30) de armazenamento. Tanto para o VACL como VASL houve aumento do valor de b* durante o armazenamento, isto indica possivelmente a presença de carotenoides no meio (vinagre), apresentando maior concentração no tempo final (30 dias).

O VRCL foi verificado redução no tempo 10 dias do parâmetro L, o que indica coloração escura. Analisou-se aumento do parâmetro a* a partir do dia 15, apresentou degradação menor do parâmetro b* no tempo de 20 dias comparado com os demais dias de armazenamento. Para o vinagre do tratamento o VRSL houve aumento do parâmetro a* a partir dos 15 dias de armazenamento. Para o parâmetro b* houve aumento dias (5,10,15,25 e 30), exceto par o dia 20 que apresentou uma redução no valor, indicando a possivelmente a presença de betacianina. O VRCL apresentou degradação menor de b* no tempo de 20 dias comparado com os demais dias de armazenamento.

A quantificação de betalaína para as microcápsulas armazenadas a temperatura ambiente na presença de luz (CACL) e na ausência de luz (CASL) está descrito na tabela 9, no qual as microcápsulas variaram entre 7,80 mg/100g a 15,76 mg/100g, sendo encontrado 15,73 mg/100g no tempo inicial (0) e 7,80 mg/100g no tempo 25 dias. Já para as microcápsulas sob temperatura refrigerada na presença de luz (CRCL) e na

ausência de luz (CRSL) variaram entre 8,12 mg/100g a 15,76 mg/100g.

Estaticamente para CACL, CASL e CRCL não diferiram significativamente (p≤0,05) no tempo 20 de armazenamento. Foi analisado que no período 25 dias as microcápsulas CACL e CRCL não diferiram significativamente (p≤0,05) entre si, como também não houve nas CASL e CRSL. Este ocorrido pode ser justificado devido ao efeito protetor da microencapsulação.

As microcápsulas quando armazenadas sob presença de luz (CACL) a 24º±1 C, o teor de betalaína teve seu teor reduzido de 15,73 mg/100 para 9,49 mg/100g na amostra, degradando 39,68% de betalaína, enquanto que para CRCL (5º±1 C), verificou-se degradação de 34,84%, obtendo o melhor resultado dentre os demais tratamentos durante 30 dias de armazenamento. Já para CASL e CRSL houve degradação de 44% e 46,66% do teor de betalaína. Isto pode ser justificado pela migração do pigmento para o produto final (vinagre).

Tabela 9: Resultados de Betalaína (mg/100g) das cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1° C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias

Tempo (dias)	Tratamentos			
	CACL	CASL	CRCL	CRSL
0	15,73 ± 0,12a	15,73 ± 0,12a	15,73 ± 0,12a	15,73 ± 0,12a
5	8,35 ± 0,08b	8,10 ± 0,66b	12,26 ± 1,58a	9,97 ± 0,56ab
10	9,30 ± 0,22b	8,92± 0,32b	12,07 ± 0,44a	8,80 ± 0,20b
15	10,53 ± 0,07b	8,46 ± 0,09d	12,09 ± 0,12a	9,37 ± 0,16c
20	8,14 ± 0,02b	7,99 ± 0,14b	7,87 ± 0,24b	9,96 ±0,57a
25	8,72 ± 0,28a	7,80 ± 0,31b	8,47 ± 0,05a	7,87 ±0,05b
30	9,49 ± 0,29ab	8,81 ± 0,28b	10,25 ± 0,78a	8,39 ±0,07b

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

VACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; VASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; VRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; VASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

Quanto os vinagres foram obtidos valores com variação entre 6,66 mg/100g a 10,82 mg/100g como na tabela 18. Os vinagres armazenados a temperatura ambiente na presença de luz (VACL) e refrigerado na ausência de luz (VRSL) nos dias 5 e 20 não apresentaram discrepância significativa entre si (p≤0,05), enquanto o VASL e VRCL diferiram entre si (p≤0,05) e entre os demais tratamentos. No dia 10 não houve diferença significativa (p≤0,05 entre o VRCL e VRSL já o VACL e VASL diferiram entre si.

Todos os vinagres no dia 15 diferiram entre si (p≤0,05). Os vinagres VASL e VRSL do dia 25 não apresentaram discrepância significativa entre si (p≤0,05) durante o armazenamento. No dia 30 não houve diferença significativa para os tratamentos VACL e VRCL, enquanto o VASL e VRSL diferiram.

Os vinagres VRCL e VRSL apresentaram maior quantidade de betalaínas. Em relação ao VACL e VASL durante o armazenamento. Para o vinagre na presença de luz (VACL) houve um maior teor de betalaínas nos tempos 5,15 e 20 de armazenamento e para VRCL verificou-se nos dias 5,10,15 e 20, isto pode ser explicado devido a migração do pigmento presente nas microcápsulas para o meio (vinagre). Entretanto houve maior redução nos dias 5,20 e 30 para o VASL e nos dias 25 e 30 dias para o VRSL, isto é correspondente aos fatores de sensibilidade que a betalaína possui, como a temperatura, oxigênio e luz (Volp, Renhe, Stringueta, 2009).

Tabela 10: Resultados do Betalaína (mg/100g) do vinagre enriquecido com cápsulas de beterraba armazenadas a temperatura ambiente (24±1°C) e de refrigeração (5±1° C) em embalagens pet por 30 dias

Tempo (dias)	Tratamentos			
	VACL	VASL	VRCL	VRSL
0	-	-	-	-
5	8,35 ± 8,06b	6,18 ± 0,00c	10,11 ± 0,60a	8,70 ± 0,04b
10	6,66 ± 0,24c	7,88 ± 0,54b	10,82 ± 0,69a	9,66 ± 0,10a
15	8,07 ± 0,07c	7,34 ± 0,10d	10,68 ± 0,21a	8,65 ± 0,20b
20	9,09 ± 0,35b	6,69 ± 0,12c	10,18 ± 0,23a	9,27 ±0,24b
25	7,66 ± 0,13b	7,20 ± 0,19c	8,29 ± 0,13a	7,27 ±0,08c
30	7,76 ± 0,08b	6,59 ± 0,00c	8,02 ± 0,00b	8,42 ±0,22a

Média ± desvio padrão de três repetições. Médias seguidas de pela mesma letra indica que não há diferença significativa pelo com teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

VACL: cápsula em temperatura ambiente na presença de luz; VASL: cápsula em temperatura ambiente na ausência luz; VRCL: cápsula sob temperatura refrigerada na presença de luz; VASL: cápsula sob temperatura refrigerada na ausência luz.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica de encapsulação em alginato de sódio foi eficiente quanto a capacidade de proteger os compostos bioativos presentes na beterraba, além de promover a migração destes para o enriquecimento de novos produtos (vinagre) com fonte de compostos antioxidantes, favorecendo saúde aos consumidores.

REFERÊNCIAS

[1] A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis. 14. Ed. Arlington: A.O.A.C., 1992. 1141p.

[2] ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Food Technology** v.17, n.2, p. 87-97, 2014.

[3] AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alim. Nutr. Araraquara** V. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.

[4] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n. 36, 14 de outubro de 1999. Estabelece o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para fermentados acéticos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 out. 1999. Seção 1, p. 76.

[5] CLAUDINO. H. Os vegetais: alimentos que promovem qualidade de vida. 2ª edição. São Paulo: Elevação, 2006. In: RONCHETI, E.; F.; S. Estudo do processamento de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango. 2014. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) - Programa de Pós-Graduação em ciência e tecnologia de alimentos, Universidade federal do espirito santo, Alegre.

[6] CLIFFORD GEORGIEV, V.G.; WEBER, J.; KNESCHKE, E.M.; DENEV, P.N.; BLEY, T.; PAVLOV, A.I. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot Beta vulgaris cv. Detroit dark red. Plant Foods Hum. Nutr., v. 65, p.105–111, 2010.

[7] DRUNKLER, D. A.; FALCÃO, L. D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Influência dos Ácidos Tânico e Gálico na Estabilidade de Betacianinas do Extrato Bruto de Beterraba Vermelha (Beta Vulgaris l.). **Alim. Nutr. Araraquara**, V. 15, n.1, p.35-41, 2004.

[8] FAVARO-TRINDADE, C.S.; GROSSO, C.R.F. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.11, p.103-112, 2008.

[9] FERREIRA, L. P. C.; XAVIER, A. C. R.; SANTOS, J.; WARTHA, E. R. S. A.; PAGANI, A.C**. Estudo de Diferentes Metodologias para Quantificação de Betalaína de Beterraba**. In: 3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA, NUTRIÇÃO E SAÚDE 2017.

[10] FERREIRA, N. A. Aproveitamento de resíduos do processamento mínimo de beterraba: elaboração de produtos tecnológicos, avaliação sensorial, físico-química e de compostos funcionais. 2010. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) – **Programa de Pós- Graduação em Nutrição Humana, Faculdade de Ciências da Saúde**, Universidade de Brasília, Brasília.

[11] INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo**). Métodos físico-químicos para análise de alimentos/coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea** -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

[12] LOZANO, M. I. C. Efecto de las condiciones de proceso en la conservación de alimentos encapsulados por el método de gelificación iónica. 127f. 2010. **Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)** – Escuela Nacional de Ciências Biológicas, Instituto Politecnico Nacional, México.

[13] OLIVEIRA FERNANDA DE. Avaliação da atividade antimicrobiana do vinagre em cortes de dianteiro bovino embalado a vácuo. 2006. 95f. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP.

[14] OLIVEIRA, R. G. de; GODOY, H. T., PRADO, M. A. Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. **Food Science and Technology** (Campinas), 2010.

[15] PARRONDO, J.; HERRERO, M.; GARCÍA, L.A.; DÍAZ, M. Production of vinegar from Whey. **Journal of the Institute of Brewing**, V.109, p. 358, 2003.

[16] RAVICHANDRAN, K.; PALANIRAJ, K.; SAW, N. M. M. T.; GABR, A. M. M.; AHMED, A. R.; KNORR, D.; SMETANSKA, I. Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 9, p. 2216-2221, 2014.

[17] SANTOS, A. B.; TRINDADE, C. S. F.; GROSSO, C. R. F. Preparo e caracterização de microcápsulas de oleoresina de páprica obtidas por atomização. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 25, n. 2 p. 322-326, 2005.

[18] SANTOS, R. S. B. Estudo dos fatores que influenciam os atributos de esferas de alginato. 2012. 126f. **Dissertação (mestrado em Biotecnologia)** - Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

[19] TIVELLI, S. W.; FACTOR, T. L.; TERAMOTO, J. R. S.; FABRI, E. G.; MORAES, A. R. A.; TRANI, P. E.; MAY, A. Beterraba: do plantio à comercialização. **Boletim Técnico nº 210**. Campinas: Instituto Agronômico, 2011.

[20] ZOCHE, E. P.; FIGUEREDO, O.; PAZUCH, C.M.; 2 COLLA, E.; BUZANELLO, R. S. Obtenção de vinagre de jabuticaba por fermentação espontânea. **Brazilian Journal of Food Research**, V. 6, n. 2, p. 1 - 12, 2015.

Capítulo 7

Propriedades térmicas de produtos derivados do leite em diferentes temperaturas - uma abordagem prática no ensino da engenharia de alimentos

Érika de Castro Vasques
Marco Aurélio Reis dos Santos
César Augusto Galvão Fernandes Conde
Odilon Passos Ravedutti Durante
Arthur Daochuen Hsielkh

Resumo: Muitos estágios do processamento e da conservação dos alimentos envolvem a transferência de calor. Assim, é importante conhecer as propriedades térmicas dos materiais, como calor específico, condutividade térmica, difusividade térmica e massa específica. Essas propriedades são exclusivas de cada alimento, e dependem fortemente da composição e da temperatura. O objetivo deste trabalho foi criar uma planilha onde fosse possível calcular as propriedades térmicas de qualquer alimento, com base em sua composição e temperatura e, em seguida, analisar as propriedades térmicas de produtos derivados do leite. Essa abordagem fez parte da aprendizagem baseada em projetos da disciplina de Operações Unitárias II do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná. A planilha foi construída no Excel, e alimentada com os dados da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). As células de entrada, onde são colocados os dados de composição e temperatura, foram destacadas na cor amarela, e as células de resultados, onde são obtidas as propriedades térmicas, foram destacadas na cor azul. O cálculo das propriedades térmicas foi feito com base em equações de predição. Neste trabalho foram analisados quatro produtos derivados do leite: iogurte natural, iogurte desnatado, queijo minas frescal e queijo minas meia cura, nas temperaturas de 20°C, 50°C e 80°C. Os resultados mostraram que, para todos os produtos analisados, o calor específico, a condutividade térmica e a difusividade térmica aumentaram com o aumento da temperatura. Já a massa específica diminuiu, uma vez que o aumento da temperatura promove o afastamento entre as partículas, resultando na expansão do volume e, consequentemente, na diminuição da densidade. Além disso, foi possível constatar que quanto maior a umidade do produto, mais os valores se aproximam das propriedades térmicas da água pura, como acontece com o iogurte natural e desnatado. Esse é um parâmetro muito importante nos cálculos de dimensionamento de equipamentos de troca térmica, uma que vez superestimar as propriedades térmicas nestes cálculos pode levar a erros consideráveis. Assim, verificou-se que o conhecimento das propriedades térmicas dos alimentos é de grande importância na análise do processamento térmico.

Palavras-chave: Propriedades termofísicas, transferência de calor, operações unitárias, metodologias ativas.

1. INTRODUÇÃO

Apenas alguns alimentos, como frutas e vegatais, vão do campo à mesa sem sofrer nenhum tipo de processamento térmico. A maioria dos produtos alimentícios industrializados passam por um ou mais tipos de processo térmico. Portanto, é importante conhecer a propriedades térmicas dos alimentos, como calor específico (C_p), condutividade térmica (k) , difusividade térmica (α) e massa específica (ρ). Essas propriedades são únicas para cada alimento e dependem fortemente da composição e da temperatura (Singh, 2016).

Na concepção de processos e dimensionamento de equipamentos para o processamento de alimentos, é necessário conhecer os valores numéricos dessas propriedades. Há duas maneiras de obter esses valores: dados tabelados, encontrados na literatura, ou a partir de equações de predição, como as propostas por Choi e Okos (Singh, 2016).

Os alimentos são formados por vários componentes (água, proteínas, lípídeos, carboidratos, fibras e cinzas). Asssim, o cálculo das propriedades térmicas é feito com base no somatório da contribuição de cada um desses componentes, sendo importante conhecer a composição química do alimento, que pode ser obtida na Tabela de Composição Química de Alimentos (TACO).

Apesar de alguns alimentos conter bastante água em sua composição, é um erro grosseiro levar em consideração apenas as propriedades da água pura nos projetos e dimensionamento de equipamentos de troca térmica. Sendo assim, estudos como esse são muito relevantes na área da Engenharia de Alimentos.

Este trabalho foi aplicado como método de Aprendizagem Baseada em Projetos para os alunos da disciplina de Operações Unitárias II do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná (UFPR). O método baseia-se em estabelecer a aprendizagem através de conexões entre teoria e prática, por meio de situações reais, sendo associado às metodologias ativas de ensino-aprendizagem.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Conhecer as propriedades térmicas dos alimentos (calor específico, condutividade térmica, difusividade térmica e massa específica) é fundamental para a análise e dimensionamento de equipamentos de troca térmica, como trocadores de calor e evaporadores (Tadini, 2016).

O calor específico representa, em termos práticos, a facilidade com que uma substância muda de temperatura. A água pura no estado líquido a 25°C e 1 atm tem um calor específico de 4,18 kJ/kg °C, enquanto o ferro em temperatura ambiente possui 0,45 kJ/kg °C. Isso indica que a água demora muito mais tempo pra esquentar (ou esfriar) do que metais como o ferro. Portanto, materiais com alto calor específico precisam de mais energia para alterar sua temperatura do que materiais com baixo calor específico.

O calor específico de um alimento é fortemente afetado pelo teor de água em sua composição. Para o leite desnatado, por exemplo, que é formado por cerca de 90 % de água, o calor específico é na ordem de 3,98 a 4,02 kJ/kg °C, ou seja, bem próximo ao valor da água pura no estado líquido (Tadini, 2016). Choi e Okos (1986) propuseram um modelo bastante abrangente para prever o calor específico dos alimentos com base em sua composição e temperatura (Equação 1).

$$C_p = \sum_{i=1}^{n} C_{pi} \cdot X_i \qquad \text{(Equação 1)}$$

onde:

C_{pi} é o calor específico de cada componente *i* (kJ/kg °C);

X_i é a fração mássica de cada componente *i*;

n é o número total de componentes de um alimento.

A condutividade térmica (*k*) é a medida da capacidade que um material tem em conduzir calor. Para a água pura *k* = 0,607 W/m °C e para o ferro *k* = 80,2 W/m °C, em temperatua ambiente, o que mostra que o ferro é um excelente condutor de calor (ÇENGEL, 2012). No cálculo deste parâmetro é importante levar em consideração a fração de vazios e o grau de homogeneidade estrutural do produto (Araújo, 2004). Para estruturas fibrosas, como a carne por exemplo, o fluxo de calor não é o mesmo em todas as direções, essa condição é chamada de anisotropia. Assim, a condutividade térmica da carne vermelha fresca com umidade em torno de 63 % varia na ordem de 0,43 a 0,51 W/m °C a 39 °C. Já a condutividade térmica do leite desnatado, com teor de umidade de 85 %, é de 0,58 W/m °C a 30 °C (Tadini, 2016).

A maioria dos alimentos com alto teor de umidade tem valores de condutividade térmica muito próximos ao da água pura. As equações de predição de Choi e Okos fornecem a condutividade térmica de um alimento em função da sua composição e temperatura (Equação. 2).

$$k = \sum_{i=1}^{n} k_i \cdot Y_i = k_i \cdot \frac{X_i/\rho_i}{\Sigma\left(X_i/\rho_i\right)} \qquad \text{(Equação 2)}$$

onde:

k_i é a condutividade térmica de cada componente *i* (W/m^2 °C);

X_i é a fração mássica de cada componente *i*;

Y_i é a fração volumétrica de cada componente *i*;

n é o número total de componentes de um alimento.

A difusividade térmica (α) representa a velocidade com que o calor se difunde por meio de um material, sendo uma propriedade muito relevante para os processos de resfriamento e congelamento. Para a água pura a 25°C, a difusividade térmica é de $0{,}14 \cdot 10^{-6}$ m^2/s, já materiais como o cobre e o alumínio possuem valores bem altos, na ordem de $113 \cdot 10^{-6}$ m^2/s e $97{,}5 \cdot 10^{-6}$ m^2/s, respectivamente (Çengel, 2012). Essa propriedade envolve todas as outras propriedades térmicas, e pode ser calculada a partir da Equação (3).

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \qquad \text{(Equação 3)}$$

Sendo assim, um material com alta condutividade térmica também apresentará alta difusividade térmica (Çengel, 2012). Valores baixos de difusividade térmica indicam que a maior parte do calor é absorvido pelo material, que é o caso da água e da maioria dos produtos alimentícios. Choi e Okos forneceram uma equação de predição para o cálculo

da difusividade térmica dos alimentos, obtida pela substituição dos valores de *k*, ρ e C_p na Equação (3).

$$\alpha = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot X_i \qquad \text{(Equação 4)}$$

onde:

α_i é a difusividade térmica de cada componente *i* (m^2/s);

X_i é a fração mássica de cada componente *i*;

n é o número total de componentes de um alimento.

A massa específica ou densidade de um produto (ρ) representa a massa por unidade de volume do material. A densidade da água pura a 20°C é de aproximadamente 1000 kg/m^3. Quanto maior o teor de água de um produto, mais próximo deste valor será a sua densidade. A batata, que possui aproximadamente 76 % de água em sua composição, apresenta densidade igual a 1127 kg/m^3 a 40 °C (Tadini, 2016). Para os alimentos, a massa específica pode ser calculada a partir das densidades de seus constituintes, como mostra a Equação (5).

$$\rho = \sum_{i=1}^{n} Y_i \cdot \rho_i \quad = \quad \frac{1}{\sum \left({}^{X_i}/_{\rho_i} \right)} \qquad \text{(Equação 5)}$$

onde:

ρ_i é a densidade de cada componente *i* (kg/m^3);

X_i é a fração mássica de cada componente *i*;

Y_i é a fração volumétrica de cada componente *i*;

n é o número total de componentes de um alimento;

Sarria e Honório (2004) determinaram, experimentalmente, as propriedades térmicas do figo *in natura*, na faixa de 5 a 21 °C. Os valores obtidos foram de C_p = 4,07 kJ/kg °C, *k* = 0,52 W/m °C, α = $1{,}56 \cdot 10^{-7}$ m^2/s e ρ = 815,6 kg/m^3. Concluíram que, os valores relativamente altos da condutividade e difusividade térmica do figo indicam certa vantagem em processos de resfriamento ou aquecimento desta fruta.

Andrade et. al (2004) avaliaram as propriedades térmicas de grãos de milho, com umidade variando em torno de 8,6 a 17,1 %. Verificaram que a condutividade térmica e o calor específico dos grãos aumentaram com o aumento do teor de água do produto, enquanto a difusividade térmica diminuiu. A massa específica dos grãos de milho aumentaram à medida que o teor de água diminuiu, o que pode ser explicado pela maior contração do volume da amostra de grãos durante o processo de secagem do produto.

Pereira et. al (2013) investigaram a relação das propriedades termofísicas da carne branca de frango com a temperatura e o conteúdo de umidade. Como resultados, verificaram que houve um aumento nos valores da condutividade térmica e da difusividade térmica em teores de umidade mais altos, enquanto a massa específica diminuiu. O mesmo foi observado com o aumento da temperatura.

3. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma planilha em Excel, onde fosse possível calcular as propriedades térmicas de qualquer alimento, com base em sua composição e temperatura e, em seguida, analisar as propriedades térmicas em produtos derivados do leite para diferentes temperaturas.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A contribuição de cada componente individual foi calculada no Excel, a partir das equações de Choi e Okos, apresentadas nas Tabelas 1A e 1B do Anexo 1. A planilha foi alimentada com os dados da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). As células de entrada, onde são colocados os dados de composição e temperatura desejados, foram destacadas na cor amarela, e as células de resultados, onde são obtidas as propriedades térmicas, foram destacadas na cor azul.

Para realizar os cálculos das propriedades térmicas, a planilha desenvolvida no Excel foi estruturada de forma a automatizar a busca e o processamento dos dados de composição dos alimentos. Para isso, foram utilizadas funções como PROCV, que permitiram localizar rapidamente, na base de dados da TACO, os valores correspondentes de cada componente alimentar e integrá-los às equações.

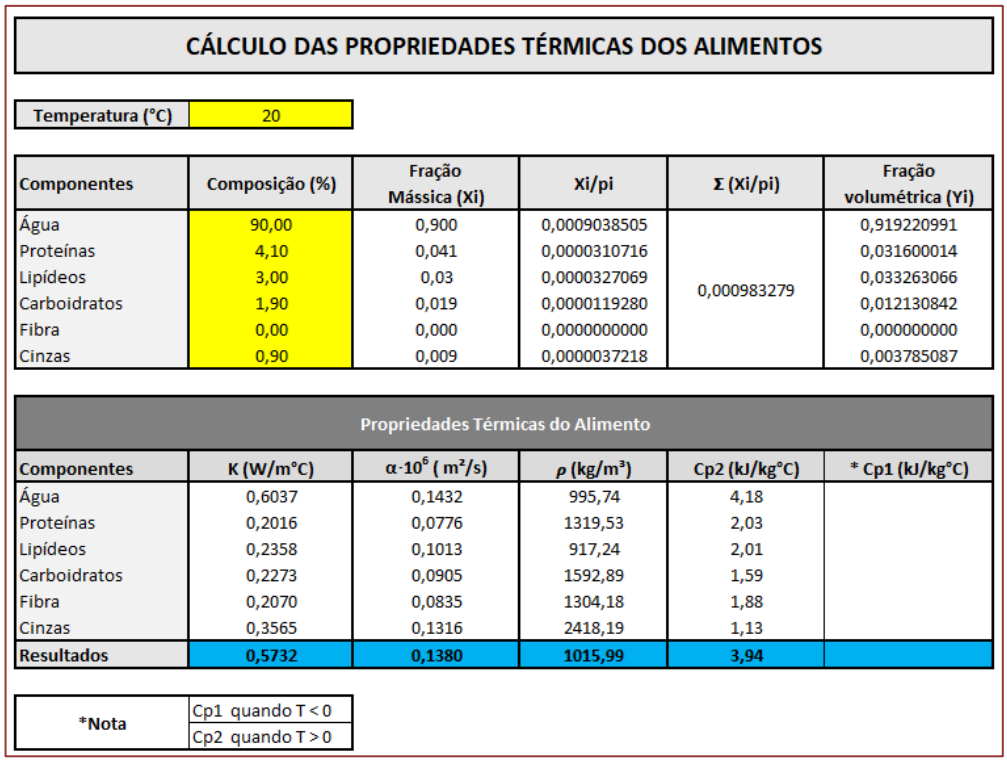
Dessa forma, a planilha consolidou as frações mássicas e volumétricas de cada propriedade, possibilitando o cálculo automático das propriedades térmicas finais. As células de entrada de dados e saída de resultados foram organizadas e destacadas, garantindo maior clareza e precisão na utilização da ferramenta.

Neste trabalho foram analisados quatro produtos derivados do leite: iogurte natural, iogurte desnatado, queijo minas frescal e queijo minas meia cura, nas temperaturas de 20°C, 50°C e 80 °C.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o cálculo das propriedades térmicas do iogurte natural a 20 °C no Excel.

Figura 1: Cálculo das propriedades térmicas do iogurte natural a 20 °C



CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS ALIMENTOS

Temperatura (°C)	20

Componentes	Composição (%)	Fração Mássica (Xi)	Xi/pi	Σ (Xi/pi)	Fração volumétrica (Yi)
Água	90,00	0,900	0,0009038505	0,000983279	0,919220991
Proteínas	4,10	0,041	0,0000310716		0,031600014
Lipídeos	3,00	0,03	0,0000327069		0,033263066
Carboidratos	1,90	0,019	0,0000119280		0,012130842
Fibra	0,00	0,000	0,0000000000		0,000000000
Cinzas	0,90	0,009	0,0000037218		0,003785087

Propriedades Térmicas do Alimento					
Componentes	K (W/m°C)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	ρ (kg/m³)	Cp2 (kJ/kg°C)	* Cp1 (kJ/kg°C)
Água	0,6037	0,1432	995,74	4,18	
Proteínas	0,2016	0,0776	1319,53	2,03	
Lipídeos	0,2358	0,1013	917,24	2,01	
Carboidratos	0,2273	0,0905	1592,89	1,59	
Fibra	0,2070	0,0835	1304,18	1,88	
Cinzas	0,3565	0,1316	2418,19	1,13	
Resultados	**0,5732**	**0,1380**	**1015,99**	**3,94**	

*Nota	Cp1 quando T < 0
	Cp2 quando T > 0

O mesmo procedimento foi feito para calcular as propriedades dos outros produtos em diferentes temperaturas. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos para o iogurte natural, iogurte desnatado, queijo minas frescal e queijo minas meia cura, nas temperaturas de 20°C, 50°C e 80 °C.

Tabela 2: Resultados dos cálculos das propriedades térmicas dos produtos derivados do leite em diferentes temperaturas

Iogurte natural				
Temperatura	Cp (kJ/kg°C)	ρ (kg/m^3)	k (W/m°C)	$\alpha \cdot 10^6$ (m^2/s)
20 °C	3,94	1015,99	0,5732	0,1380
50 °C	3,95	1007,75	0,6130	0,1512
80 °C	3,97	993,17	0,6416	0,1603
Iogurte desnatado				
Temperatura	Cp (kJ/kg°C)	ρ (kg/m^3)	k (W/m°C)	$\alpha \cdot 10^6$ (m^2/s)
20 °C	3,91	1033,05	0,5754	0,1374
50 °C	3,92	1024,90	0,6138	0,1508
80 °C	3,94	1010,27	0,6407	0,1600
Queijo minas frescal				
Temperatura	Cp (kJ/kg°C)	ρ (kg/m^3)	k (W/m°C)	$\alpha \cdot 10^6$ (m^2/s)
20 °C	3,19	1053,81	0,4511	0,1212
50 °C	3,21	1043,65	0,4983	0,1321
80 °C	3,23	1029,24	0,5379	0,1400
Queijo minas meia cura				
Temperatura	Cp (kJ/kg°C)	ρ (kg/m^3)	k (W/m°C)	$\alpha \cdot 10^6$ (m^2/s)
20 °C	2,99	1065,02	0,4169	0,1167
50 °C	3,01	1054,30	0,4661	0,1271
80 °C	3,04	1039,94	0,5087	0,1347

Os resultados mostraram que o calor específico de todos os alimentos aumentou com o aumento da temperatura, sendo que o C_p dos iogurtes natural e desnatado (em média 3,95 kJ/kg °C) se aproximou mais ao C_p da água pura no estado líquido (4,18 kJ/kg °C), uma vez que são produtos com alto teor de água em sua composição.

Para todos os alimentos verificou-se que a massa específica diminuiu com o aumento da temperatura. Isso já era esperado, uma vez que o aumento da temperatura promove a agitação das moléculas, que se distanciam e, consequentemente, aumentam o volume. Observou-se também que todos os alimentos apresentaram massa específica discretamente maiores ao da água pura (1000 kg/m^3), sendo os maiores valores observados para o queijo minas frescal e meia cura (1050 kg/m^3 em média).

A condutividade térmica dos alimentos geralmente é baixa, pois os alimentos não são bons condutores de calor. Então, como esperado, todos os alimentos resultaram em valores baixos para a condutividade térmica. Foi possível verificar também que com o aumento da temperatura houve um aumento da condutividade térmica para todos os produtos, sendo maiores e mais próximas ao da água pura (0,607 W/m °C) para os iogurtes natural e desnatado (na faixa de 0,57 a 0,64 W/m °C).

Assim como a condutividade térmica, a difusividade térmica dos alimentos é baixa. Observou-se que com o aumento da temperatura houve um aumento nos valores da difusividade térmica de todos os produtos, sendo maiores e mais próximos ao da água pura ($0{,}14 \cdot 10^{-6}$ m^2/s) para os iogurtes natural e desnatado (em média $0{,}15 \cdot 10^{-6}$ m^2/s).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores do calor específico, da condutividade térmica e da difusividade térmica de todos os produtos avaliados aumentaram com o aumento da temperatura. Para essas propriedades, os valores dos iogurtes natural e desnatado se aproximaram mais aos valores da água pura, uma vez que são alimentos com alto teor de água em sua composição. Já a massa específica de todos os alimentos diminuiu com o aumento da temperatura, sendo que todos os alimentos apresentaram valores de massa específica ligeiramente maiores ao da água pura.

Com base nos resultados deste trabalho, pode-se concluir que o cálculo das propriedades térmicas é muito importante para obter as propriedades específicas de cada alimento, pois utilizar os valores das propriedades da água pura em projetos e dimensionamento de equipamentos, como trocadores de calor, evaporadores e secadores, pode levar a erros consideráveis.

Em geral, as propriedades térmicas de produtos com alto teor de água em sua composição se aproximam mais aos valores das propriedades da água pura, mas tendem a se alterar com o aumento da temperatura.

O método de aprendizagem baseada em projetos foi muito satisfatório para a consolidação do conhecimento sobre as propriedades térmicas dos alimentos pelos alunos da disciplina de Operações Unitárias II do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná.

REFERÊNCIAS

[1] ANDRADE, E. T; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M.; PEIXOTO, A. B. **Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho.** Ciências Agrotecnológica, vol. 28, n°. 3, p. 488-498, 2004.

[2] ARAÚJO, J.L.; QUEIROZ, A.J.M. E FIGUEIREDO, R.M.F., 2004, **"Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos"**, Ciência Agrotecnológica, Vol. 28, n°. 1, p.126-134.

[3] ÇENGEL, Y. A. **Transferência de calor e massa – uma abordagem prática.** 4ª ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

[4] FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2000.

[5] OKOS, M. R.; CHOI, Y., **Thermal properties of liquid foods – review.** In: Physical and Chemical Properties of Foods, Michigan, NY: American Society of Agricultural Engineers, 1986.

[6] PEREIRA, T. E. J.; STROHER, G. R.; TURBIANI, F. R. B.; NICOLETI, J. F. **Propriedades termofísicas da carne branca de frango: efeito da temperatura e do conteúdo de umidade.** Brazilian Journal of Food Technology, vol. 16, n°. 4, p. 278-284, 2013.

[7] SARRIA, S.D.; HONÓRIO, S. L. **Condutividade e difusividade térmica do figo (*Ficus carica* L.) "roxo de Valinhos".** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, vol. 24, n°. 1, p. 185-194, 2004.

[8] SINGH, R. Paul; HELDMAN, Dennis R. **Introdução à engenharia de alimentos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

[9] TADINI, Carmen Cecilia *et al* (org.). **Operações unitárias na indústria de alimentos**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

[10] UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos -TACO.** 2ª ed. Campinas: UNICAMP/NEPA, 2006.

ANEXO 1- TABELA DE PROPRIEDADES TÉRMICAS

Tabela 1A: Equações para o cálculo das propriedades térmicas dos componentes

Propriedade Térmica	Componente	Equação como uma Função da Temperatura
	Carboidrato	k=0,20141+1.3874×10^{-3}T−4,3312×10$^{-6}T^2$
	Cinza	k=0,32962+1.4011×10^{-3}T−2,9069×10$^{-6}T^2$
k (W/m °C)	Fibra	k=0,18331+1.2497×10^{-3}T−3,1683×10$^{-6}T^2$
	Gordura	k=0,18071+2.7604×10^{-3}T−1,7749×10$^{-7}T^2$
	Proteína	k=0,17881+1.1958×10^{-3}T−2,7178×10$^{-6}T^2$
	Carboidrato	α=8,08842×10−2+5,3052×10^{-4}T−2,3218×10$^{-6}T^2$
	Cinza	α=1,2461×10^{-1}+3,7321×10^{-4}T−1,2244×10$^{-6}T^2$
α·10^6 (m^2/s)	Fibra	α=7,53976×10^{-2}+5,1902×10 ^{-4}T−2,2202×10$^{-6}T^2$
	Gordura	α=9,8877×10^{-2}+1,2569×10^{-4}T−3,8286×10$^{-8}T^2$
	Proteína	α=6,8714×10^{-2}+4,7578×10^{-4}T−1,4646×10$^{-6}T^2$
	Carboidrato	ρ=1,59991×10^3−0,31046T
	Cinza	ρ=2,4238×10^3−0,28063T
ρ (kg/m^3)	Fibra	ρ=1,3115×10^3−0,36589T
	Gordura	ρ=9,2559×10^2−0,41757T
	Proteína	ρ=1,3299×10^3−0,51840T
	Carboidrato	$\hat{C}_p$=1,5488+1.9625×10^{-3}T−5,9399×10$^{-6}T^2$
	Cinza	$\hat{C}_p$=1,0926+1.8896×10^{-3}T−3,6817×10$^{-6}T^2$
C$_p$ (kJ/kg °C)	Fibra	$\hat{C}_p$=1,8459+1.8306×10^{-3}T−4,6509×10$^{-6}T^2$
	Gordura	$\hat{C}_p$=1,9842+1.4733×10^{-3}T−4,8008×10$^{-6}T^2$
	Proteína	$\hat{C}_p$=2,0082+1.2089×10^{-3}T−1,3129×10$^{-6}T^2$

Fonte: Choi e Okos (1986).

Tabela 1B: Equações para o cálculo das propriedades térmicas da água e do gelo

Componente	Propriedade	Equação como uma Função da Temperatura
	k (W/m °C)	k = 0,57109+1,7625×10^{-3}T−6,7036×10$^{-6}T^2$
	α·10^6 (m^2/s)	α = 0,13168+6,2477×10^{-4}T−2,4022×10$^{-6}T^2$
Água	ρ (kg/m^3)	ρ = 997,18+3,1439×10^{-2}T−3.5754×10$^{-3}T^2$
	C_{PA1} (kJ/kg °C)	C_{PA1} = 4,0817−5,3062×10^{-3}T+9,9516×10$^{-4}T^2$
	C_{PA2} (kJ/kg °C)	C_{PA2} = 4,1762−9,0864×10^{-5}T+5,4731×10$^{-6}T^2$
	k (W/m °C)	k = 2,2196−6.2489×10^{-3}T+1,0154×10$^{-4}T^2$
Gelo	α·10^6 (m^2/s)	α = 1,1756−6,0833×10^{-3}T+9,5037×10$^{-5}T^2$
	ρ (kg/m^3)	ρ = 918,89−0,13071T
	C_P (kJ/kg °C)	C_P = 2,0623+6,0769×10^{-3}T

Fonte: Choi e Okos (1986).

C_{PA1} para uma faixa de temperatura entre -40 °C e 0 °C.
C_{PA2} para uma faixa de temperatura entre 0 °C e 150 °C.

Capítulo 8

Capacidade antioxidante dos extratos hidroetanólicos de Passiflora spp.

Zilanir Carvalho Pereira
Josiana Moreira Mar
Edinilze Souza Coelho Oliveira
Lesliê de Azevedo Gomes
Renilto Frota Corrêa
Jaqueline de Araújo Bezerra

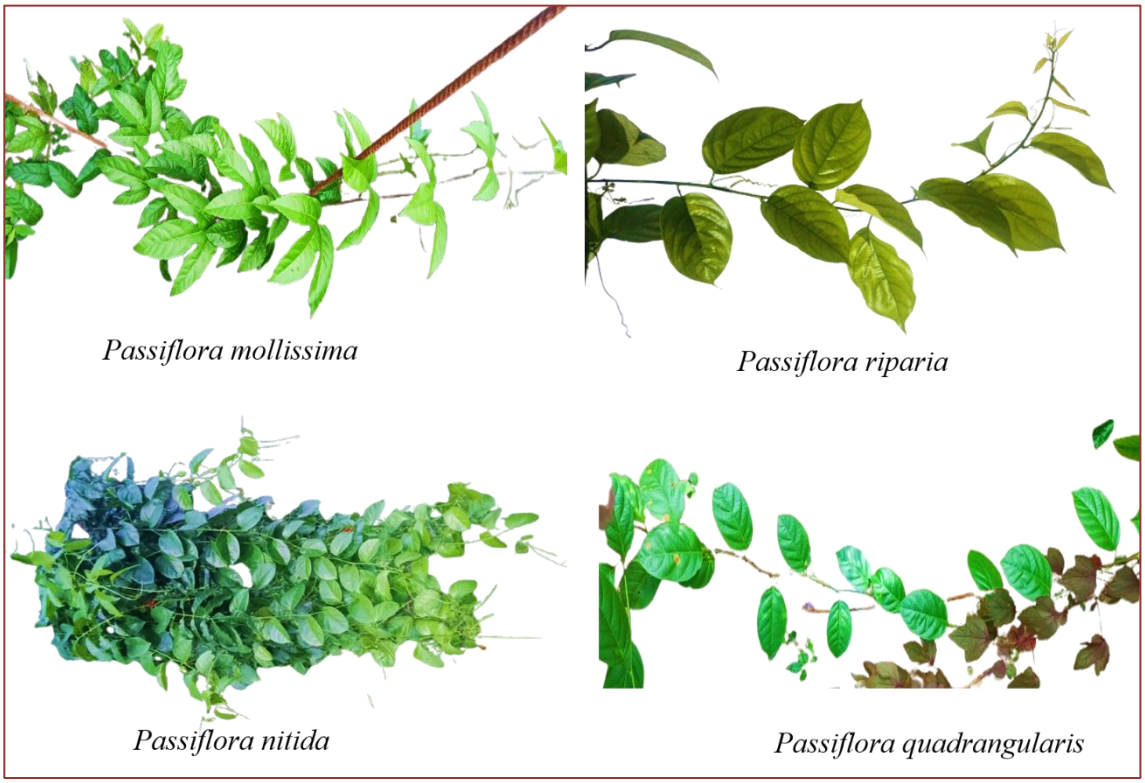
Resumo: As folhas de diferentes espécies de *Passiflora* apresentam variação significativa em compostos bioativos e capacidade antioxidante. *P. nitida* destacou-se pelo maior teor de compostos fenólicos totais (623,9 mg EAG/g) e capacidade antioxidante pelo ensaio de DPPH (1174,3 µM TE), ABTS (1528,4 µM TE). *P. quadrangularis* apresentou o maior teor de carotenoides (497,9 µg mL^{-1}). Os resultados indicam que cada espécie possui potencial específico, sendo promissora para aplicações alimentares, nutracêuticas e farmacêuticas.

Palavras-chave: DPPH, ABTS, compostos fenólicos, carotenoides totais, *Passiflora spp*.

1. INTRODUÇÃO

A diversidade do gênero *Passiflora* abriga espécies que vêm despertando interesse crescente devido ao seu potencial como fontes de compostos bioativos com aplicações alimentares, nutracêuticas e farmacêuticas. Estudos recentes têm mapeado a composição fitoquímica de polpas, folhas e sementes de várias espécies, destacando a presença de polifenóis, flavonoides e carotenoides que conferem atividade antioxidante (Pereira et al., 2023).

A quantificação da atividade antioxidante *in vitro* é uma etapa padrão na triagem de extratos vegetais e normalmente combina ensaios que capturam mecanismos distintos de ação redox. Entre os métodos mais empregados, o DPPH e o ABTS avaliam a capacidade de sequestro de radicais livres, enquanto o FRAP mede a capacidade redutora frente ao par Fe^{3+}/Fe^{2+}, um indicador de potencial de transferência de elétrons (Gulcin, 2025).



Os compostos fenólicos totais (CFT) avaliados tipicamente pelo ensaio de Folin Ciocalteu permanecem entre os preditores mais consistentes de atividade antioxidante em matrizes polares, incluindo frutos de *Passiflora*. Trabalhos recentes com espécies amazônicas e cultivares revelam correlações robustas entre CFT e respostas nos ensaios DPPH, ABTS, FRAP, indicando que flavonoides e ácidos fenólicos são frequentemente os principais responsáveis pela capacidade redutora observada nesses extratos (Cruz et al., 2023; Pereira et al., 2024).

Diante desse quadro, o presente trabalho tem como objetivo avaliar e comparar a capacidade antioxidante dos extratos hidroetanólicos das folhas das espécies *Passiflora nitida, P. riparia, P. mollissima* e *P. quadrangularis*. Visando identificar as espécies com

maior capacidade redutora de radicais livres como indicativo para aplicações futuras nas áreas alimentícia, nutracêutica e farmacêutica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

As folhas das espécies foram coletadas em área particular localizada em Manaus, Amazonas (coordenadas 3°01'30"S 60°05'36"W). As amostras foram secas em estufa de ar circulante a uma temperatura média de 60 °C por 72 h e submetidas à pulverização em liquidificador.

2.2. EXTRATOS HIDROETANÓLICOS

Os extratos foram obtidos de acordo com o método descrito por Arruda et al., (2018) com modificações: 2 g de cada amostra liofilizada foi submetida à extração com etanol e água (8:2, v/v) usando um banho ultrassônico (Mylabor, modelo SSBuc-6L, 110V, 1000W, Brasil), (3 x 15 mL x 30 min), em temperatura ambiente.

2.3. ENSAIO DE CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

2.3.1. CAPACIDADE DE SEQUESTRO DO RADICAL DPPH˙(2,2-DIFENIL-1-PICRIL-HIDRAZILA)

Para o ensaio com o radical DPPH˙, 5 µL das amostras foram adicionados a 195 µL de solução de DPPH˙ (100 µM) e incubados em ambiente escuro por 30 min. Posteriormente realizou-se as leituras de absorbância, foram feitas a 515 nm usando um leitor de microplacas (Epoch 2, BioTek, Winooski, VT, EUA). A curva padrão de Trolox foi construída em diferentes concentrações (100, 500, 1000, 1500, 2000 µM) e realizou-se este ensaio em triplicata e seus resultados foram expressos em micromolar de equivalentes de Trolox (µM ET) (Mar et al., 2020).

2.3.2. CAPACIDADE DE SEQUESTRO DO CÁTION RADICAL ABTS˙+ [2,2'-AZINOBIS-(ÁCIDO 3- ETILBENZOTIAZOLINA-6-SULFÔNICO)]

A capacidade sequestrante de cátions radicais $ABTS^{\cdot+}$ foi realizada em 5 mL de solução de ABTS (7 mM) e 88 µL de persulfato de potássio ($K_2S_2O_8$) a 140 mM, incubada no escuro a temperatura ambiente por 16 horas. Após esse período 1 mL da solução foi misturada com álcool etílico até absorbância de 0,700 a 734 nm. Dessa solução 300 µL foram misturados com 3 µL das amostras e colocados para reagir no escuro por 6 minutos. Posteriormente realizou-se as leituras de absorbância, foram feitas a 734 nm usando um leitor de microplacas (Epoch 2, BioTek, Winooski, VT, EUA). A curva padrão de Trolox foi construída em diferentes concentrações (100, 500, 1000, 1500 e 2000 µM). Realizou-se este ensaio em triplicata e seus resultados foram expressos em micromolar de equivalentes de Trolox (µM ET) (Mar et al., 2020).

2.3.3. PODER ANTIOXIDANTE/REDUTOR FÉRRICO (ENSAIO FRAP)

O Ensaio de Poder Antioxidante/Redutor Férrico envolve a avaliação da capacidade do extrato de reduzir Fe^{3+} a Fe^{2+} na presença de um complexo férrico-tripiridiltriazina. Após uma interação de 30 minutos entre a amostra e o reagente FRAP a 37 °C. Posteriormente realizou-se as leituras de absorbância, foram feitas a 593 nm usando um leitor de microplacas (Epoch 2, BioTek, Winooski, VT, EUA). Uma curva padrão foi construída usando $FeSO_4$ (com a relação y = 0,0009x + 0,1664 e um R^2 de 0,9990). Os resultados foram apresentados em termos de micromolar de equivalentes de Fe(II) (µM Fe(II)/g) por grama da amostra (Mar et al., 2020).

2.4. TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS (CFT)

Para a avaliação do CFT, uma alíquota de 20 µL dos extratos foi deixada reagir com 150 µL de Reagente Folin Ciocalteu e água (1:10) por 5 min. Em seguida, 150 µL de $NaHCO_3$ (60 g/L) foram adicionados à solução anterior. Após 90 minutos de reação no escuro, a absorbância foi medida a 725 nm. Uma curva padrão de ácido gálico foi obtida em concentrações de 31,2 a 1000 µg mL^{-1}. As medições foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico por grama (mg EAG/g) (Velioglu et al., 1998; Mar et al., 2020).

2.5. DETERMINAÇÃO DE CAROTENOIDES

A determinação dos carotenoides nas amostras seguiu metodologia semelhante à determinação da vitamina A. As amostras (1 mL) foram misturadas com 6 mL de água destilada. Adicionou-se hexano (5 mL) e agitou-se a mistura vigorosamente num vórtex durante 1 min. O sobrenadante (fase de hexano) contendo a fração lipídica foi coletado e analisado em leitora de microplaca (modelo SK201, marca LEDDA) a 450 nm usando hexano como branco. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os resultados expressos como o teor de vitamina que foi determinado com base em uma curva de calibração produzida com o padrão de β-caroteno (Fernandes et al., 2019; Mar et al., 2020).

2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos ao teste ANOVA One-Way seguido pelo teste HSD (diferença honestamente significativa) de Tukey (p -valor ≤ 0,05). As medições foram realizadas em triplicata e os valores foram relatados como média ± desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados da avaliação da capacidade antioxidante e o teor de compostos fenólicos totais nos extratos *Passiflora*. O ensaio DPPH revelou diferenças significativas entre os extratos analisados, com destaque para PN, que apresentou a maior atividade antioxidante (1174,3 µM TE). Esse desempenho superior indica elevada capacidade de doação de elétrons, característica típica de extratos ricos em fenólicos redutores. Em seguida PR também apresentou atividade elevada (921,8 µM TE), sugerindo perfil de compostos fenólicos. Em contraste, PQ (681,8 µM TE) e PM (633,5 µM TE) mostraram os menores valores, respectivamente, indicando menor abundância de

antioxidantes capazes de reagir com o radical DPPH. A literatura reforça que espécies do gênero *Passiflora* ricas em flavonoides *C*-glicosilados, como vitexina e orientina, exibem forte atividade no ensaio DPPH devido à elevada eficiência redox dessas moléculas (Pretes et al., 2023; Pereira et al., 2024; Pereira et al., 2025).

Tabela 1. Capacidade antioxidante, teor de compostos fenólicos totais e carotenoides totais em extratos hidroetanólicos de *Passiflora* spp

Amostras	DPPH (µM TE)	ABTS (µM TE)	FRAP (µM Fe(II)/g)	CFT (mg EAG/g)	CT (µg/mL)
PN	1174,3 ± 8,0 a	1528,4 ± 6,9 a	1290,5 ± 3,3 a	623,9 ± 1,0 a	289,5 ± 0,0 b
PQ	681,8 ± 5,2 c	854,0 ± 10,0 c	977,5 ± 2,9 c	384,1 ± 1,3 c	497,9 ± 0,0 a
PM	633,5 ± 6,6 d	834,0 ± 8,8 c	931,2 ± 2,7 d	245,5 ± 1,0 d	218,4 ± 0,0 c
PR	921,8 ± 3,8 b	1227,3 ± 12,0 b	1168,6 ± 4,0 b	532,3 ± 0,9 b	72,8 ± 0,0 d

CFT: Compostos fenólicos totais. CT: Carotenoides Totais. PN (*P. nitida*); PQ (*P. quadrangularis*); PM (*P. mollissima*); PR (*P. riparia*). Letras diferentes nas colunas indicam diferenças estatisticamente significativas.

No ensaio ABTS, o PN novamente apresentou o maior potencial antioxidante (1528,4 µM TE). O ABTS, por ser aplicável a compostos hidrofílicos e lipofílicos, reforça a superioridade do extrato de *P. nitida*, indicando a presença de uma matriz diversificada de antioxidantes. O PR seguiu como segunda maior atividade (1227,3 µM TE), refletindo um conjunto relevante de compostos redutores e sequestradores de radicais. Já PQ (854,0 µM TE) e PM (834,0 µM TE) apresentaram valores mais baixos, sugerindo menor diversidade ou menor concentração de antioxidantes capazes de interagir com $ABTS^{\bullet+}$ (Rumpf & Schulze, 2023).

O ensaio FRAP demonstrou uma relação ainda mais forte entre atividade antioxidante e compostos redutores. PN, com o maior valor (1290,5 µM Fe(II)/g), mostra a maior capacidade de reduzir Fe^{3+} para Fe^{2+}, característica típica de extratos ricos em polifenóis com elevado potencial redox (Mar et al., 2023). PR apresentou o segundo melhor resultado (1168,6 µM Fe(II)/g), comportamento coerente com sua matriz polifenólica. Por outro lado, PQ (977,5 µM Fe(II)/g) e PM (931,2 µM Fe(II)/g) exibiram menor atividade redutora, condizente com seus menores valores de CFT. Assim, a superioridade de PN e PR sugere maior abundância desses compostos bioativos (Pereira et al., 2023).

Nos resultados de CFT, o PN apresentou o maior teor (623,9 mg EAG/g), seguido por PR (532,3 mg EAG/g), PQ (384,1 mg EAG/g) e PM (245,5 mg EAG/g). Essa ordem coincide diretamente com a tendência observada nos ensaios antioxidantes, confirmando que os fenólicos são os principais determinantes da atividade antioxidante nos extratos avaliados. A forte correlação entre CFT e FRAP/DPPH/ABTS é amplamente descrita na literatura, especialmente em espécies do gênero *Passiflora*, onde flavonoides *C*-glicosilados são abundantes e responsáveis pelo potencial antioxidante (Pereira et al., 2023b). Assim, a maior concentração de fenólicos em PN e PR explica diretamente sua superior atividade redutora e de sequestro de radicais (Rumpf & Schulze, 2023).

Os resultados obtidos para o teor de carotenoides (CT) revelam uma variação expressiva entre as espécies analisadas, indicando diferenças marcantes na capacidade de biossíntese e acúmulo desses pigmentos. A maior concentração foi observada em PQ (497,9 µg mL^{-1}), seguida por PN (289,5 µg mL^{-1}), PM (218,4 µg mL^{-1}) e, por último, PR (72,8 µg mL^{-1}). Esse gradiente sugere que as espécies apresentam fenômenos

metabólicos distintos relacionados às enzimas, chave da via carotenoide, como fitoeno sintase e licopeno β-ciclase, resultando em padrões específicos de pigmentação (Chen et al., 2023).

4. CONCLUSÃO

Os extratos de *Passiflora* apresentaram variabilidade significativa na capacidade antioxidante, compostos fenólicos e carotenoides totais. *P. nitida* destacou-se como a espécie com maior capacidade antioxidante, associada ao seu elevado teor de compostos fenólicos, seguido de *P. riparia*. *P. quadrangularis* apresentou o maior teor de carotenoides, embora com menor atividade antioxidante nos ensaios polares. Esses resultados indicam que espécies diferentes do gênero possuem potencial específico, algumas mais indicadas para antioxidantes hidrossolúveis, outras como fontes de carotenoides e pigmentos naturais. Os resultados obtidos foram promissores principalmente para PN e PR como indicativo de capacidade redutora de radicais livres e riqueza em compostos antioxidantes.

REFERÊNCIAS

[1] Arruda, H. S., Pereira, G. A., de Morais, D. R., Eberlin, M. N., & Pastore, G. M. (2018). Determination of free, esterified, glycosylated and insoluble-bound phenolics composition in the edible part of araticum fruit (Annona crassiflora Mart.) and its by-products by HPLC-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*, *245*(November 2017), 738–749. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.120

[2] Chen, Y., Xing, M., Chen, T., Tian, S., & Li, B. (2023). Effects and mechanisms of plant bioactive compounds in preventing fungal spoilage and mycotoxin contamination in postharvest fruits: A review. *Food Chemistry*, *415*, 135787. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135787

[3] Cruz, J. M. A., Pereira, Z. C., Corrêa, R. F., Lamarão, C. V., Sanches, E. A., Campelo, P. H., & Bezerra, J. de A. (2023). Bioactive compounds, functional properties, and technological application of Passiflora quadrangularis : A review. *JSFA Reports*, *3*(4), 150–160. https://doi.org/10.1002/jsf2.108

[4] Fernandes, F. A. N., Santos, V. O., & Rodrigues, S. (2019). E ff ects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice. *Food Research International*, *115*(February 2018), 16–22. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.042

[5] Gulcin, İ. (2025). *Antioxidants : a comprehensive review*. https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2

[6] Mar, J. M., Corrêa, R. F., Ramos, A. da S., Kinupp, V. F., Sanches, E. A., Campelo, P. H., & Bezerra, J. de A. (2023). Enhancing Bioactive Compound Bioaccessibility in Tapirira guianensis Juices through Ultrasound-Assisted Applications. *Processes*, *11*(9). https://doi.org/10.3390/pr11092718

[7] Mar, J. M., da Silva, L. S., Lira, A. C., Kinupp, V. F., Yoshida, M. I., Moreira, W. P., Bruginski, E., Campos, F. R., Machado, M. B., de Souza, T. P., Campelo, P. H., de Araújo Bezerra, J., & Sanches, E. A. (2020). Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the Hibiscus acetosella extract. *Powder Technology*, *360*, 383–391. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.062

[8] PEREIRA, Z. C., CRUZ, J. M. dos A., CASTRO, D. R. G., RAMOS, A. S., ROCHA, D. de Q., ARRUDA, H. S., BORSOI, F. T., NERI-NUMA, I. A., PASTORE, G. M., SANCHES, E. A., CAMPELO, P. H., FARIA, J. A. Q. A., OLIVEIRA, L. M., & BEZERRA, J. de A. (2024). Passiflora nitida Kunth fruit: Chemical analysis, antioxidant capacity, and cytotoxicity. *Food Science and Technology*, *44*. https://doi.org/10.5327/fst.00258

[9] Pereira, Z. C., Cruz, J. M. dos A., Corrêa, R. F., Sanches, E. A., Campelo, P. H., & Bezerra, J. de A. (2023a). Passion fruit (Passiflora spp.) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. *Food Research International*, *166*(January). https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112626

[10] Pereira, Z. C., Cruz, J. M. dos A., Corrêa, R. F., Sanches, E. A., Campelo, P. H., & Bezerra, J. de A. (2023b). Passion fruit (Passiflora spp.) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. *Food Research International*, *166*(September 2022), 112626. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112626

[11] Pereira, Z. C., Vermehren, C. A. A., Gomes, L. de A., Ferreira, A. da S., Aguiar, J. P. L., Souza, F. das C. do A., Oliveira, E. S. C., & Bezerra, J. de A. (2025). Estudo químico das Sépalas de Passiflora riparia: um subproduto alternativo com propriedade funcional. In *Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações - Volume 6*. Editora Poisson. https://doi.org/10.36229/978-65-5866-541-0.CAP.02

[12] Pretes, G. S., De Lima, C. B., & Antonelli-Ushirobira, T. M. (2023). Controle de qualidade sazional das folhas de Passiflora. *Brazilian Journal of Health Review*, *6*(3), 13232–13238. https://doi.org/10.34119/bjhrv6n3-376

[13] Rumpf, J., & Schulze, M. (2023). *International Journal of Biological Macromolecules Statistical evaluation of DPPH , ABTS , FRAP , and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins*. *233*(January).

[14] Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46*(10), 4113–4117. https://doi.org/10.1021/jf9801973

Capítulo 9

Potencial antioxidante de kombucha de chás (Camellia sinensis) e ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata Miller)

Jean Lucas Ribeiro de Farias
Ellen Porto Pinto
Ellen Cristina Perin

Resumo: A crescente busca por alimentos com benefícios à saúde tem impulsionado a oferta de produtos voltados a esse mercado, embora ainda haja poucas opções de bebidas funcionais com alto teor proteico e *plant-based*. Nesse contexto, a kombucha, bebida fermentada à base de chá (*Camellia sinensis*), vem ganhando espaço na alimentação dos brasileiros devido aos possíveis efeitos benéficos atribuídos aos compostos formados durante sua fermentação. Paralelamente, a ora-pro-nóbis destaca-se por seu elevado teor proteico e potencial antioxidante, podendo enriquecer diversas formulações alimentícias. Este estudo desenvolveu kombuchas de chá verde com diferentes saborizações (chá branco, chá verde, chá preto e ora-pro-nóbis), buscando aumentar o teor de compostos antioxidantes e, assim, potencializar benefícios à saúde. Foram realizadas análises físico-químicas (pH, acidez volátil e titulável, sólidos solúveis, graduação alcoólica e proteínas), ensaios de atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP), determinação de compostos fenólicos totais (CFT) e flavonoides totais (FT), complementadas por análises estatísticas (PCA e VIP score). Os parâmetros físico-químicos estiveram dentro da legislação brasileira, embora algumas formulações (F4, F2, F1 e F3) necessitem ajustes para elevar a acidez volátil, que ficou próxima ao limite mínimo. Todas apresentaram teor alcoólico abaixo de 0,5%, sendo classificadas como não alcoólicas. O pH apresentou valores próximos ao limite mínimo devido à acidificação inicial da solução com os Scobys e solução starter. As kombuchas com ora-pro-nóbis exibiram pelo menos o dobro de proteínas em comparação às demais. A formulação F1 apresentou os maiores valores antioxidantes em todas as análises, seguida por F3 e F5, enquanto F2 e F4 registraram os menores teores. As análises microbiológicas confirmaram a segurança das bebidas. Conclui-se que as kombuchas com ora-pro-nóbis mostraram bom aporte proteico, embora menor atividade antioxidante, enquanto F1 (chá verde) apresentou maior potencial antioxidante.

Palavras-chave: bebidas fermentadas; chá verde; PANC; antioxidantes.

1. INTRODUÇÃO

Uma bebida que vem ganhando espaço no mercado consumidor é a kombucha. A Associação Brasileira de Kombucha (ABKOM), produziram 1,6 milhões de litros e faturaram até então 18,9 milhões de reais com a comercialização de kombuchas no Brasil (ABKOM, 2022). A Instrução Normativa n° 41, de 17 de setembro de 2019 estabelece os padrões de identidade e qualidade para o produto Kombucha em âmbito nacional e a define como uma bebida fermentada, obtida pela respiração e fermentação anaeróbia do mosto elaborado pela infusão ou até mesmo pelo extrato de *Camellia sinensis* e açúcares por ação de cultura simbiótica de bactérias e leveduras microbiologicamente ativas (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast - Scoby*) (Brasil, 2019).

Alguns estudos vêm desenvolvendo kombuchas com formulações variadas e saborizações distintas, como por exemplo: kombucha de erva mate (*Ilex paraguariensis*) (ROSSONI, 2019) e kombucha de lírio do brejo, gengibre, uva e chá verde (Kath et al. 2020). Essas plantas incomuns de serem empregadas em alimentos fazem parte de um grupo denominado por Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC).

Dentre os alimentos plant based, o grupo das PANCs criado em 2008 agrupa plantas que podem ser totalmente comestíveis ou possuir partes destinadas à alimentação humana, podendo ser obtidas pelo cultivo ou de maneira espontânea, sendo exóticas ou nativas desde que não estejam inseridas no cardápio cotidiano. Os alimentos do grupo PANC podem possuir alto valor nutricional, além de propiciar benefícios à saúde humana (Da Silva; Damiani, 2022).

A *Pereskia aculeata* (ora-pro-nóbis), faz parte deste grupo e vem sendo estudada há muitos anos e seus altos teores proteicos, de fibras, compostos bioativos e micronutrientes são relatados em diversos trabalhos, sendo amplamente destinada à fabricação de produtos panificáveis (Sierakowski,1988; Duarte e Hayashi, 2005; Agostini-Costa et al., 2012; Barreira et al., 2021; Da Silva; Damiani, 2022).

Analisando esses dois nichos lado a lado, nota-se um déficit no quesito de bebidas potencialmente funcionais com alto teor proteico e *plant-based*. Diante dessa necessidade, o desenvolvimento de uma kombucha de chá verde e ora-pro-nóbis pode suprir parcialmente a demanda do mercado consumidor, competindo também diretamente com a indústria de refrigerantes, por se tratar de bebidas gaseificadas consumidas refrigeradas. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar o potencial antioxidante de kombucha elaborada a partir de chás (*Camellia sinensis*) e ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata Miller*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. AMOSTRAS

Foram elaboradas 7 kombuchas utilizando chá verde como precursor no primeiro processo fermentativo (*F1). No segundo processo fermentativo (saborização) (*F2) utilizaram-se as variações dos tipos de chás da *Camellia sinensis* L. (branco, verde e preto) e o chá da ora-pro-nóbis. Os *Scobys* foram adquiridos através de doação de um pequeno produtor comercial; as variedades de chás; as folhas de ora-pro-nóbis; açúcar mascavo e água mineral foram adquiridas comercialmente.

2.2. PREPARO DAS KOMBUCHAS

O preparo das kombuchas foi baseado na metodologia descrita por Watawana *et al*. (2015) e Moreno, Stiebe e Michielin (2021). Na primeira etapa do processo fermentativo utilizou-se somente chá verde e na segunda etapa do processo fermentativo (saborização) efetuou-se o preparo de 7 tratamentos (100% chá verde, 100% chá branco, 100% chá preto, 100% ora-pro-nóbis, 50% chá verde com 50% de ora-pro-nóbis, 50% de chá preto com 50% de ora-pro-nóbis e 50% de chá branco com 50% de ora-pro-nóbis) (volume por volume (v/v)). Utilizando em todas as formulações a quantidade de *Scoby* a 4% (m/v) na primeira etapa do processo fermentativo conforme relatado por Schroeder (2019).

Vale ressaltar que as folhas de ora-pro-nóbis passaram previamente pelo processo de moagem através do uso de pistilo e almofariz antes de serem adicionadas na etapa de saborização. Este processo promoveu o aumento da superfície de contato para que fosse possível extrair os compostos com maior facilidade. Após a etapa de envase, as garrafas permaneceram 7 dias sob temperatura ambiente (25 °C) em estufa com circulação de ar, até que fosse observado a completada a carbonatação.

2.3. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O delineamento utilizado foi realizado de forma ocasional conforme a tabela 1 abaixo, constando os sete tipos de tratamentos executados. Conforme relatado anteriormente, o chá verde foi mantido na primeira etapa do processo fermentativo em todos os tratamentos.

Tabela 1 – Formulações de Kombuchas elaboradas

Formulações	Segundo Processo Fermentativo (*F2)	Percentual de cada tipo de chá (%v/v)
F1	Chá verde	100
F2	Chá branco	100
F3	Chá preto	100
F4	Ora-pro-nóbis (OP)	100
F5	OP + chá verde	50
F6	OP + chá branco	50
F7	OP + chá preto	50

Fonte: Autoria própria (2025).

2.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Utilizou-se da potenciometria para quantificar o potencial hidrogeniônico (pH) das kombuchas. Para obter o teor de acidez titulável, foi realizado a titulometria com solução padrão de NaOH 0,1 M e para a obter a acidez volátil foi necessário promover um arraste de vapor da amostra e coletar 100 mL de cada formulação para posteriormente titular com uma solução padrão de NaOH 1M (Zenebon; Pascuet; Tiglea, 2008). Para a análise de graduação alcoólica foi realizada a destilação alcoólica da amostra e a conversão de densidade relativa a 20 °C utilizando a tabela 6 do método 247/IV Cervejas – Álcool em peso do Instituto Adolfo Lutz (2008), o resultado foi expresso em % de álcool / volume a 20 °C (Zenebon; Pascuet; Tiglea, 2008; Souza, 2019).

Para análise de sólidos solúveis totais foi utilizado um refratômetro. Os resultados foram expressos em °Brix (Zenebon; Pascuet; Tiglea, 2008; Souza, 2019). Para quantificar as

proteínas utilizou-se o método clássico de Kjeldahl descrito por Zenebon, Pascuet e Tiglea (2008) adaptado por Moraes, Bender e Kottwitz (2020) que analisaram o teor proteico de kombuchas e utilizaram o método 036/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008).

2.5. POTENCIAL ANTIOXIDANTE

Para determinação do potencial antioxidante foram realizadas análises de quantificação de compostos fenólicos e flavonoides totais, e a atividade antioxidante (AA) foi determinada por três distintos métodos – ABTS, DPPH e FRAP, análises tais que seguem abaixo descritas.

2.5.1. COMPOSTOS FENÓLICOS E FLAVONOIDES TOTAIS

Para determinar os compostos fenólicos totais das amostras de kombucha, foi necessário elaborar uma curva padrão com ácido gálico. Os ensaios precisaram ocorrer ao abrigo de luz, o branco foi composto por água destilada. Após aguardar a reação, efetuou-se a leitura a 740 nm no espectrofotômetro, os resultados foram expressos em miligramas de ácido gálico por grama (mg GAE g^{-1}) (Singleton; Orthofer e Lamuelaraventós, 1999).

A metodologia para determinar flavonoides totais foi descrita e adaptada por Park *et al*. (1995) e Singh e Rathore (2018). Foi elaborada uma curva padrão utilizando quercetina 2000 µg mL^{-1}. As amostras foram analisadas após 40 minutos através da leitura a 415 nm no espectrofotômetro e os resultados foram expressos em mg quercetina g^{-1}.

2.5.2. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE – MÉTODOS ABTS, DPPH E FRAP

Como forma de mensurar a AA da kombucha, no método ABTS foi obtido a curva padrão a partir de uma solução Trolox 2000 µM, e para o branco utilizou-se o etanol. O comprimento de onda da absorbância aplicado foi de 734 nm e os resultados ficaram expressos em mM TEAC g^{-1} amostra (TEAC é a capacidade antioxidante equivalente a Trolox) (RE *et al*.,1999).

Para mensurar a atividade antioxidante através do método DPPH, foi necessário utilizar a metodologia descrita por Musa *et al*. (2013) com adaptações. Foi necessário efetuar uma curva padrão com Trolox 1000 µM e 2000 µM, em que o DPPH foi solubilizado em etanol, variando de 0 a 200µM. Para as amostras foi aplicado a absorbância de 517 nm no espectrofotômetro, utilizando para o branco o etanol. Os resultados foram expressos em os resultados ficaram expressos em mM TEAC g $^{-1}$ amostra.

Para determinação do FRAP este método foi adaptado de Rufino et al. (2006), consistiu em elaborar uma curva padrão de sulfato ferroso 2 mM e posteriormente efetuar a análise que consistiu em avaliar a capacidade do antioxidante reduzir o Fe^{+3} em Fe^{+2}, na presença de 2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ) em condições ácidas, resultando em um complexo de coloração azul intensa com o Fe^{+2}. Essa análise foi realizada em ambiente escuro. Foram realizadas as leituras das absorbâncias em espectrofotômetro a 595 nm.

2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi efetuada as médias avaliadas por erro-padrão, posteriormente os valores foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com 5% de significância

(p<0,05) quando pertinente, correlação de Pearson e Análise de Componentes Principais (PCA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Os resultados físico-químicos obtidos para caracterização das kombuchas produzidas estão dispostos na tabela 2. Inicialmente é válido ressaltar que fica evidente que as kombuchas elaboradas apresentaram-se em sua maior parte dentro dos parâmetros da Instrução Normativa n° 41 de 2019. Estes parâmetros são: pH mínimo de 2,5 e máximo de 4,2; Graduação alcoólica (%v/v) kombucha sem álcool com o valor limitante de 0,5%; Acidez volátil (mEq/ L) com teor mínimo de 30 e máximo 130 mEq/ L (Brasil, 2019).

Em relação ao pH, os valores obtidos ficaram entre 3,09 (F2) e 3,15 (F3), sendo que o menor valor foi encontrado na kombucha elaborada com 100% chá branco e o maior valor para a kombucha elaborada com 100% de chá preto. De modo geral pode-se afirmar que o pH tendeu ao valor mínimo requerido pela legislação, houve pequenas variações e somente as formulações (F4) e (F6) apresentaram-se estatisticamente iguais. Essa variação de pH entre as kombuchas também está ligada a composição química e bioquímica de cada tipo de chá utilizado, como pode-se observar no estudo de aferição do pH diário de kombuchas elaboradas com chá verde e chá preto de Rezende (2020), no qual os valores de 7 dias de processo fermentativo obtido para a kombucha elaborada com chá verde foi de 3,29 ± 0,03 e para a kombucha elaborada com chá preto de 3,61 ± 0,02.

Tabela 2 – Análises físico-químicas (acidez volátil, acidez titulável, pH, sólidos solúveis totais, proteínas e teor alcoólico) de sete formulações de kombucha elaborados a partir de tipos de chás (branco, verde e preto) e ora-pro-nóbis

Formulações	Acidez Volátil (mEq/L)	Acidez Titulável (mEq/L)	pH	Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	Proteínas (g/100g ou %)	Teor alcoólico (%v/v)
F1	31,05 ± 0,28 cb	40,11 ± 0,57 d	3,12 ± 0,00 d	3,00 ± 0,00 d	3,31 ± 0,00 b	0,02 ± 0,00 e
F2	31,53 ± 1,94 cb	45,75 ± 0,00 c	3,09 ± 0,01 f	3,50 ± 0,00 c	3,31 ± 0,00 b	0,12 ± 0,00 b
F3	32,17 ± 1,27 b	46,41 ± 0,57 c	3,15 ± 0,00 a	3,58 ± 0,10 c	3,53 ± 0,38 b	0,00 ± 0,00 f
F4	27,85 ± 1,66 c	46,41 ± 0,57 c	3,11 ± 0,01 e	4,50 ± 0,00 a	7,07 ± 0,19 a	0,06 ± 0,00 d
F5	38,73 ± 0,55 a	52,05 ± 0,57 b	3,14 ± 0,00 b	4,00 ± 0,00 b	6,96 ± 0,33 a	0,23 ± 0,00 a
F6	40,17 ± 1,94 a	56,36 ± 0,57 a	3,11 ± 0,00 e	4,00 ± 0,00 b	7,62 ± 0,33 a	0,01 ± 0,00 f
F7	42,25 ± 1,66 a	37,46 ± 0,57 e	3,13 ± 0,00 c	4,00 ± 0,00 b	7,73 ± 0,51 a	0,10 ± 0,01 c
Legislação	Min. 30 Máx. 130	-	Min. 2,5 Máx. 4,2	-	-	Não alcoólicas Máx. 0,5%

Médias ± desvio padrão seguido por letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste Tukey (p<0.05) entre formulações. Os parâmetros do termo Legislação são provenientes da IN n° 41 de 2019. Formulações: F1 (100% chá verde), F2 (100% chá branco), F3 (100% chá preto), F4 (100% ora-pro-nóbis), F5 (ora-pro-nóbis + chá verde 50% cada), F6 (ora-pro-nóbis + chá branco 50% cada) e F7 (ora-pro-nóbis + chá preto 50% cada).

Fonte: Autoria própria (2025).

O segundo parâmetro que a legislação brasileira exige é a graduação alcoólica. Como o intuito da pesquisa também foi elaborar um produto com potencial antioxidante, optou-se pela produção de kombuchas classificadas como não alcoólicas. Diante disso, ao

observar a tabela 2, nota-se que todas as formulações apresentaram teor alcoólico inferior a 0,5 %.

Isso ocorreu devido a baixa quantidade de substrato fornecido para as culturas microbiológicas efetuarem o consumo e transformação inicial em ácidos orgânicos, álcool e gás carbônico e posteriormente as BAA promoverem a redução do etanol em ácido acético. Logo, pode-se afirmar que todo processo fermentativo ocorreu de forma saudável e bem-sucedida em relação ao consumo de substrato e formação de produtos, ou seja, a relação de açúcares biodisponíveis e de leveduras ativas permaneceram equiparados.

Da Silva (2021) comenta que a variação na concentração de etanol está associada a essa razão de substrato e leveduras ativas e que esse processo de produção de álcool pode ocorrer por vários dias mesmo contando com armazenamento sob refrigeração.

O terceiro parâmetro requerido pela Instrução Normativa n° 41 de 2019 é a acidez volátil. Observando a tabela 2, nota-se de modo geral que a maioria das formulações se enquadraram dentro dos limites permitidos, com exceção das formulações (F1), (F2) e (F4). É importante enfatizar que a realização da análise ocorreu em um curto período após o início do armazenamento das kombuchas sob refrigeração. Esse resultado pode ter ocorrido devido a redução das atividades microbiológicas quando submetidas a barreira física de refrigeração. Lopes, Rodrigues e Coelho (2021) realizaram o acompanhamento da acidez ao longo dos dias do processo fermentativo e notaram um comportamento linear crescente dos valores de acidez.

Outro ponto importante que pode ter influenciado, foi a utilização do açúcar mascavo, o qual não é tão biodisponível quanto o açúcar cristal ou refinado, dificultando o acesso ao substrato e produzindo ao final do processo fermentativo menores teores de ácidos orgânicos voláteis. Rossoni (2019) afirma que a fonte de carboidratos influencia no tempo de fermentação para que os compostos atinjam o auge de concentração.

De modo geral, todas as formulações apresentaram valores próximos ao parâmetro mínimo da legislação, esse valor mínimo de acidez volátil deve ser garantido a fim de promover maior estabilidade do produto. A acidez volátil é proveniente dos ácidos voláteis contidos na kombucha, os quais auxiliam na inibição de reações indesejáveis como a deterioração do produto ao longo do tempo. Logo, valores abaixo de 30 mEq/L podem ocasionar alterações indesejáveis na qualidade da kombucha durante sua vida útil, fator também relatado por Araujo Filho (2022).

Araujo Filho (2022) e Paredes, Escudero-Gilete e Vicario (2022) afirmam que a acidez titulável deve ser inversamente proporcional aos valores de pH, contudo, há a possibilidade desses valores não obedecerem a essa relação, principalmente quando as amostras possuem componentes distintos em sua formulação. Sendo esta situação observada nesse trabalho.

No caso das kombuchas estudadas é esperado que os valores de acidez titulável sejam maiores do que os valores da análise de acidez volátil, pois na acidez titulável são quantificados todos os ácidos contidos no produto, já na análise de acidez volátil ocorre uma seleção apenas com os compostos voláteis, justificando o processo de destilação por arraste de vapor utilizado na metodologia antes da titulação final. Pezzini (2021) afirma que a composição microbiológica tem influência na produção destes ácidos orgânicos, além da adição de componentes na etapa de saborização (segundo processo fermentativo), o que foi realizado nesse estudo variando os chás adicionados.

Com relação a análise de Sólidos Solúveis Totais a (F4) apresentou os maiores teores, indicando ser a mais doce entre os kombuchas formulados. As formulações (F1), (F2) e (F3) obtiveram os menores valores, isso indica que houve maior consumo de açúcar por parte das bactérias e leveduras. Contudo, esta análise deveria ter sido realizada durante todo o processo fermentativo. Dessa forma ficaria evidente que o aumento da acidez estaria relacionado com a redução do teor de sólidos solúveis totais, assim como relatado por Araujo (2022).

Nota-se que todas as formulações com a presença de ora-pro-nóbis apresentaram maiores teores de sólidos solúveis totais; isso pode ter ocorrido devido à presença da própria ora-pro-nóbis, a qual possui compostos antibacterianos que podem ter influenciado o consumo do substrato. Pois ela possui elevado teor de flavonoides, até mesmo a rutina, um potencial agente antibacteriano (Soni *et al*., 2013; Nogueira Silva *et al.*, 2023; Carvalho *et al*., 2023).

A análise de proteínas foi realizada com o intuito de validar a hipótese que a kombucha contendo a ora-pro-nóbis obteria maiores teores de proteína. De fato, ao observar os resultados contidos na tabela 2, nota-se que o grupo de formulações (F1) (F2) e (F3) diferiram estatisticamente das formulações (F4), (F5), (F6) e (F7), em que essas últimas formulações mencionadas, dobraram a porcentagem do teor proteico ao serem comparadas com as demais formulações sem ora-pro-nóbis.

Esperava-se um teor proteico ainda maior, pois na literatura são encontrados teores próximos a 25 % de proteína em base seca (Mattos, 2021). Contudo, o resultado apresentado é considerado satisfatório, pois obteve-se mais que o dobro de proteína comparado com as demais kombuchas elaboradas.

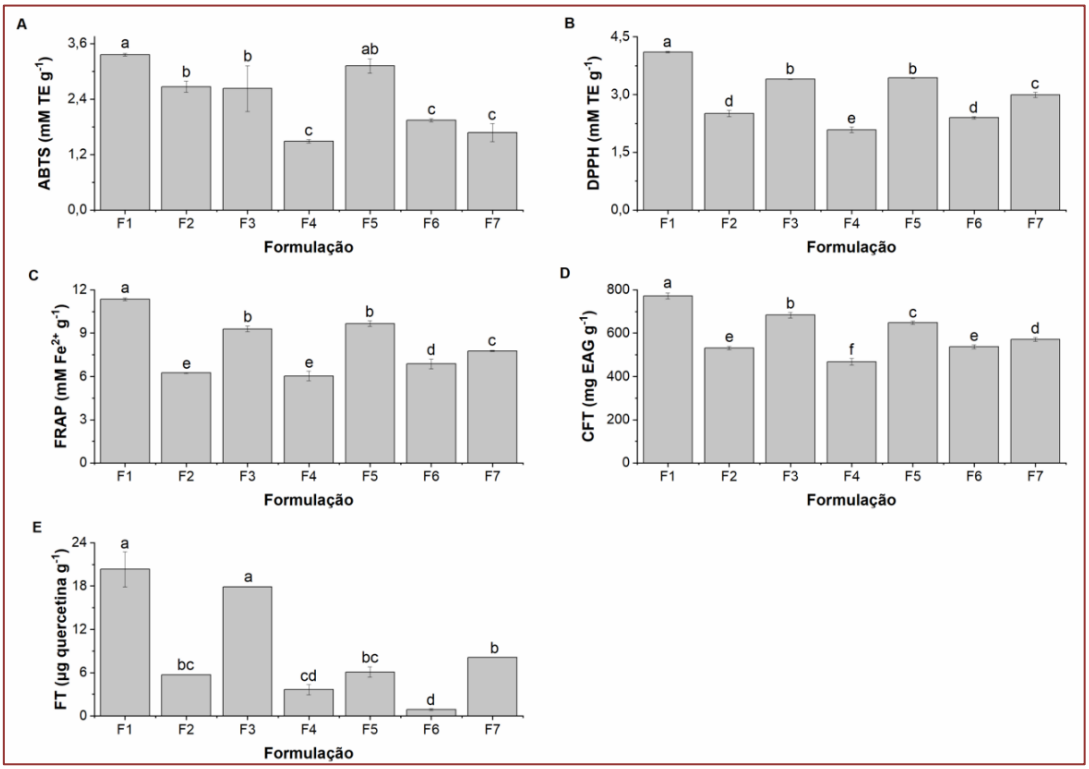
3.2. POTENCIAL ANTIOXIDANTE

Na figura 1 é apresentado o gráfico geral contendo todas as análises de potencial antioxidante analisadas. Oliveira *et al*. (2018) afirmam que as plantas produzem esses compostos bioativos como forma de defesa natural contra fatores bióticos e abióticos. Essa produção de compostos pode variar dependendo das condições de cultivo em que a planta foi exposta.

Observando os gráficos contidos na figura 1, é possível identificar quais foram as 3 melhores formulações no âmbito de compostos bioativos. Sendo as formulações (F1), (F3) e (F5). Em seguida será discutido individualmente cada análise realizada a fim de entender o comportamento desses compostos antioxidantes. Antes disso é importante ressaltar o porquê foram realizadas diferentes análises de compostos bioativos. Isso é justificado pelo mecanismo de ação distinto entre as análises, permitindo quantificar diferentes tipos de compostos presentes nas formulações distintas.

A análise ABTS fundamenta-se no potencial dos antioxidantes presentes na amostra em reduzirem o radical $ABTS^{+}$ a ABTS, essa redução ocorre através da doação de elétrons para o radical, convertendo-o de volta para o seu estado não radical, reduzindo também a coloração azul esverdeada. Essa redução pode ser mensurada utilizando o espectrofotômetro (De Oliveira *et al.*, 2022). Os resultados de ABTS podem ser visualizados na figura 1 abaixo:

Figura 1 – Potencial antioxidante pelos métodos ABTS (A), DPPH (B) e FRAP (C), e Compostos Fenólicos Totais (CFT) (D) e Flavonoides Totais (FT) (E) de sete formulações de kombucha elaborados a partir de tipos de chás (branco, verde e preto) e ora-pro-nóbis



Médias ± desvio padrão seguido por letras diferentes entre as colunas indicam diferença significativa pelo teste Tukey ($p<0.05$) entre formulações. Formulações: F1 (100% chá verde), F2 (100% chá branco), F3 (100% chá preto), F4 (100% ora-pro-nóbis), F5 (ora-pro-nóbis + chá verde 50% cada), F6 (ora-pro-nóbis + chá branco 50% cada) e F7 (ora-pro-nóbis + chá preto 50% cada).

Fonte: Autoria própria (2025).

Observando a figura 1A, nota-se que as formulações (F1) e (F5) apresentaram-se estatisticamente iguais possuindo os maiores teores de atividade antioxidante para o método ABTS. Nas formulações (F4), (F6) e (F7) observou-se os menores valores para este método, não diferindo estatisticamente.

Esperava-se que o chá branco apresentasse maiores teores de compostos bioativos nesta análise e nas demais estudadas. Entretanto estes resultados não condizem com a literatura citada neste trabalho, em que foi relatado que devido as folhas da *Camellia sinensis* possuírem maiores teores de compostos bioativos nas brotações e folhas mais jovens (parâmetro para classificar como chá branco), obtivessem maiores teores. A forma de processamento utilizada neste trabalho pode ter influenciado nesse resultado, fator abordado no trabalho de Sola (2023) em que também comenta o uso de chá verde e chá preto como percursores para elaboração de kombucha. Neste estudo as kombuchas que possuíam o chá verde em sua composição, obtiveram melhor comportamento antioxidante frente a doação de elétrons para reduzir o ABTS+ em ABTS.

Vale relembrar que o processamento para obtenção do chá verde, passa pelo aquecimento ou vaporização em alta temperatura para inibir a oxidação enzimática, dessa forma ocorre maior preservação dos compostos bioativos (XING *et al*., 2019). Já o chá branco, passa por

um processamento mínimo, podendo ser seco ao sol ou com baixa temperatura (Santos, 2020). Esse fator pode influenciar na retenção de compostos antioxidantes.

A próxima análise estudada para determinar a atividade antioxidante foi utilizando o reagente DPPH. Esta análise possui alta sensibilidade, praticidade e rapidez e neste estudo, fundamenta-se no potencial antioxidante presente nas kombuchas em reduzirem o radical DPPH em 2,2-difenil-1-picril-hidrazina (DPPH-H). Os resultados de DPPH podem ser visualizados na figura 1B.

A formulação (F1) apresentou melhor desempenho em reduzir o radical DPPH, seguida pelas formulações (F3) e (F5) que foram consideradas estatisticamente iguais. A bebida que apresentou menor valor de atividade antioxidante para esta análise foi a formulação (F4).

A (F1) se sobressaiu no potencial antioxidante, o chá verde possui elevado teor de catequinas, as quais pertencem a classe dos flavonoides. Esse teor é maior no chá verde do que no chá preto devido as diferentes formas de processamento da folha (AHMED; STEPP, 2012). As catequinas, como a epigalocatequina-3-galato (EGCG), são um dos principais compostos presentes no chá verde que possuem essa atividade antioxidante e podem reduzir o radical DPPH (Huebra; Teixeira; Boroni Moreira, 2022). Diante disso, o resultado obtido é justificado.

Com o intuito de averiguar a existência de compostos antioxidantes capazes de reduzir o Fe^{+3} em Fe^{+2}, na presença de 2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ) em condições ácidas, foi realizada a análise pelo método denominado FRAP. Esse mecanismo promove a alteração da cor do complexo de vermelho para azul, que pode ser medida por espectrofotometria (Rufino *et al.*, 2006). Os resultados de FRAP podem ser visualizados na figura 1C.

Nota-se que a formulação (F1) apresentou maior capacidade antioxidante para reduzir o Fe^{+3} em Fe^{+2}, e as formulações (F3) e (F5) apresentaram-se estatisticamente iguais sendo classificadas logo após a (F1). As bebidas que possuíram menor capacidade antioxidante para reduzir o Fe^{+3} em Fe^{+2}, foram as formulações (F2) e (F4), que não diferiram estatisticamente.

Outro fator, tanto para a formulação (F4) elaborada com chá de ora-pro-nóbis quanto para a (F2) elaborada com chá branco, ambos os chás das formulações não passaram por processos térmicos que promovessem o aumento do teor de cafeína, como é o caso da formulação (F3), que além de possuir cafeína em sua composição, possui teaflavinas, as quais são oriundas da oxidação das catequinas e possibilitam a redução do íon férrico para o íon ferroso (LI *et al.*, 2013). A formulação (F1) e (F5) conforme comentado anteriormente, possui compostos provenientes do chá verde, como a catequina (EGCG) e outros compostos flavonóis e flavonoides, os quais podem ter sido detectados, mas não identificados nessa análise (Quideau, *et al.*, 2011; Cruz; Medeiros, 2023).

Em relação aos compostos fenólicos totais, é importante salientar que o grupo de flavonoides totais (FT) também são uma categoria dentro do grupo de compostos fenólicos totais (CFT). Dito isso, é possível compreender os resultados obtidos e demonstrados nas figuras 1D e 1E, em que em algumas formulações foram quantificados baixos índices de flavonoides, mas em compensação teores elevados de CFT, isso acontece porque existem outras categorias de compostos fenólicos, como os ácidos benzoicos, taninos e tocoferóis que não foram identificados nesse trabalho (Yang *et al.*, 2018).

Observando a figura 1D, é perceptível que em todas as formulações a quantificação de CFT foi acima de 400 mg EAG g^{-1}, sendo a (F1) com maior destaque significativo estatisticamente devido ao chá verde apresentar compostos polifenóis, flavonoides, catequinas, ácidos fenólicos como por exemplo o ácido gálico entre outros componentes, os quais possivelmente auxiliaram a obter este resultado (Macêdo *et al.*, 2023). A formulação (F4) obteve baixo teor de (CFT) isso pode ser reflexo do tema abordado anteriormente em relação ao cultivo da planta. Santos (2020) afirma que podem ocorrer variações na composição fenólica, principalmente devido aos fatores como, as propriedades do solo de cultivo, as condições climáticas que a planta foi submetida, o tipo de solvente utilizado na extração, além do tempo e temperatura empregado nesse processo e época de colheita para elaborar as kombuchas.

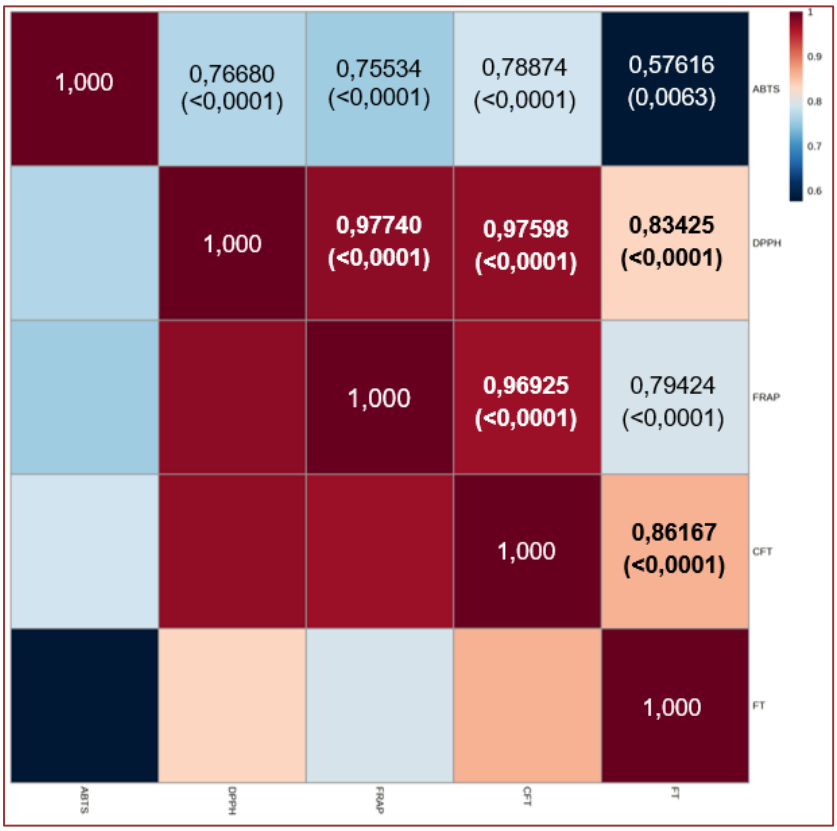
Observando a figura 1E, nota-se que as formulações (F1) e (F3) apresentaram-se iguais estatisticamente e com elevado teor comparadas com as demais formulações. Isso pode ser justificado devido a presença de diversos compostos do grupo flavonoide, como, por exemplo, as catequinas oxidadas em teaflavinas citadas anteriormente, principalmente levando em conta que o chá preto tende a possuir maiores teores desses compostos.

Diante das análises realizadas de potencial antioxidante, fez-se necessário submeter os resultados para verificar através da análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) se ocorreram correlações entre elas. Essa análise gerou a figura 2, o mapa de calor (HeatMap).

Observando a figura 2, a maioria dos compostos bioativos com potencial antioxidante apresentaram correlação positiva significativa, ou seja, existe a correlação provável dos compostos de maior potencial antioxidante avaliados, CFT, FT, FRAP, DPPH e ABTS que devem ser majoritariamente a composição dos tipos de compostos presentes nas formulações elaboradas. Destacando as correlações CFT com FRAP obtendo 0,96925 (<0,0001), CFT com DPPH obtendo a correlação de 0,97598 (<0,0001) e DPPH com FRAP obtendo correlação de 0,97740 (<0,0001).

Conforme abordado nesse estudo, essas correlações são benéficas, por exemplo, no caso das correlações do DPPH, os compostos bioativos presentes nas amostras analisadas, de fato podem possuir catequinas que auxiliaram na obtenção elevada de correlação com a análise de FRAP. O mesmo pode ter ocorrido entre o DPPH e o CFT, indicando a provável contabilização de um grupo polifenol presente nas kombuchas.

Figura 2 - Correlação de Pearson por HeatMap de sete formulações de kombucha elaborados a partir de tipos de chás (branco, verde e preto) e ora-pro-nóbis das variáveis da atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP e compostos fenólicos totais (CFT) e flavonoides totais (FT)



Destacados em negrito são significativos e com correlação maior que 0,80.
Coloração tendendo a vermelho escuro indica proximidade de correlação a 1. Coloração tendendo ao azul escuro indica proximidade de correlação 0,60.

Fonte: Autoria própria (2025).

Após essa análise minuciosa, foi possível verificar que as formulações (F1), (F3) e (F5) apresentaram maior potencial antioxidante e de compostos bioativos nas análises realizadas.

3.3. ANÁLISE MULTIVARIADA

Com o intuito de obter uma perspectiva abrangente do impacto das análises em cada tratamento, foi realizada uma análise multivariada, em que é possível observar os agrupamentos das formulações dispostas na análise de componentes principais (PCA), não supervisionada. A qual tem a capacidade de representar graficamente o máximo de informações relacionadas a matriz de dados (realizando a correlação das variáveis dependentes e os tratamentos). A forma resumida desta análise consta na figura 3A. O primeiro componente (PC1) conseguiu explicar 57,6% da variância total e junto com o PC2 (25,9%) que explicou um total de 83,5%. De modo geral, é possível observar a uniformidade entre as repetições de cada tratamento.

Além disso, para o grupo de análises antioxidantes a formulação que mais correlacionou nesta análise de componentes principais foi a formulação F3 (100% chá preto) seguida da F1 (100% chá verde), resultado condizente com as análises de compostos antioxidantes, contudo, a F3 apresentou melhor correlação.

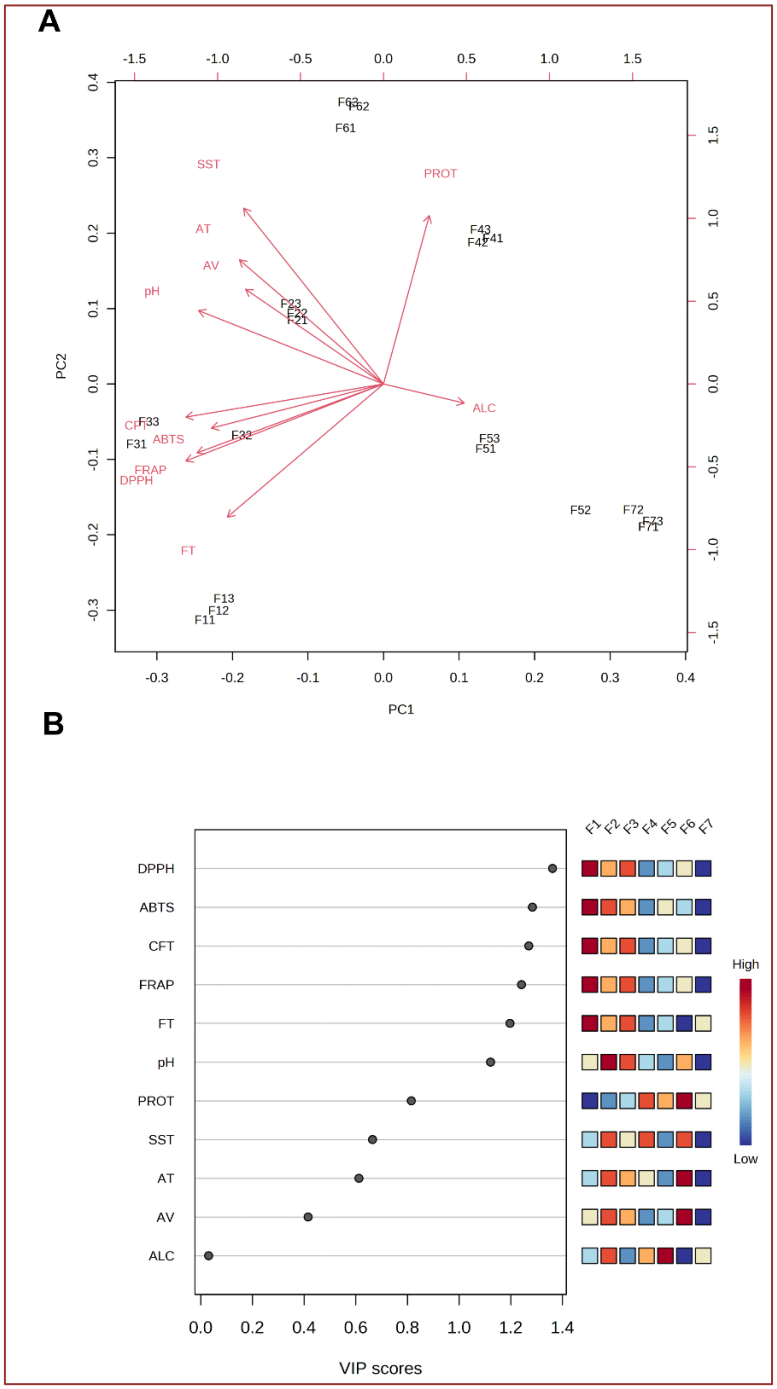
Observando o eixo referente a correlação proteica, a formulação F4 (100% ora-pro-nóbis) apresentou maior correlação nesta análise de componentes principais. Isso reafirma o potencial proteico da kombucha elaborada com essa PANC.

Em relação as análises físico-químicas a formulação F2 (100% chá branco) apresentou maior correlação com os parâmetros da legislação. A formulação F5 (50% chá verde e 50% ora-pro-nóbis) ficou próxima ao eixo da análise de graduação alcoólica, sendo justificado pois também foi a amostra que obteve o maior teor alcoólico entre as sete formulações, contudo, abaixo do limite estabelecido pela legislação.

Na figura 3B, constam os resultados para a metodologia empregada dos mínimos quadrados (LMS) por VIP score e na tabela 3, os respectivos valores pontuados. É importante salientar que essa metodologia consiste em obter uma separação mais distinta entre as amostras e seus respectivos mais influenciados. Foram examinadas onze variáveis influenciadas no estudo e apenas 6 foram consideradas influenciáveis (tabela 3) devido a pontuação mínima requerida no VIP score ser maior que 1, valor limitante relatado por Berteli (2022).

A formulação F1 obteve maior influência em todas as análises de atividade antioxidante (DPPH, ABTS, FRAP) e de compostos bioativos (CFT e FT), tendo o destaque maior para a análise de DPPH com VIP score de aproximadamente 1,36. O resultado condiz com o comportamento apresentado durante as análises de potencial antioxidante.

Figura 3 – Análise de Componentes Principais (A) e VIP score (Importância Variável na Projeção) por PLS-DA (Mínimos Quadrados Parciais - Análise Discriminante) (B) de sete formulações de kombucha elaborados a partir de tipos de chás (branco, verde e preto) e ora-pro-nóbis, das variáveis: sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT), acidez volátil (AT), proteínas (PROT), álcool (ALC) pH, atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP e compostos fenólicos totais (CFT) e flavonoides totais (FT)



Fonte: Autoria própria (2025).

Ainda em relação a influência dos compostos antioxidantes e bioativos estudados, as formulações F1, F2 e F3 apresentaram maior influência destes resultados. A F2 é a única

que se difere das demais, pois não possui chá verde em sua composição após o processo de saborização, contudo é possível reafirmar a influência do potencial antioxidante para a formulação com chá branco. Este estudo corroborou com os dados do PCA, com exceção da F2 que apresentou correlação para as análises físico-químicas e não para as de compostos bioativos. A F2 também teve influência do pH, e nos resultados físico-químicos apresentou o menor pH registrado, portanto essa influência pode ser considerada negativa.

Tabela 3 – Resultados dos mínimos quadrados (LMS) por VIP score

	VIP score
DPPH	1,3615
ABTS	1,2838
CFT	1,2696
FRAP	1,2413
FT	1,1969
pH	1,1218
PROT	0,81488
SST	0,66479
AT	0,61221
AV	0,41546
ALC	0,030472

Variáveis em negrito indicam VIP >1.

Fonte: Autoria própria (2025).

4. CONCLUSÕES

Em relação aos parâmetros físico-químicos todas as formulações apresentaram conformidade com a legislação brasileira, sendo necessário alguns ajustes nas formulações F4, F2, F1 e F3 para elevar o teor de acidez volátil que se apresentou próximo ao limite mínimo estabelecido. Todas as kombuchas apresentaram teor alcoólico abaixo de 0,5% sendo definidas como não alcoólicas.

O pH apresentou teores próximos ao limite mínimo da legislação, isso ocorreu devido a acidificação da solução inicial de preparo com a doação dos *Scobys* e solução starter. As kombuchas elaboradas com ora-pro-nóbis apresentaram pelo menos o dobro de proteínas do que as formulações sem a ora-pro-nóbis.

Com relação ao potencial antioxidante, a formulação F1 apresentou maiores teores em todas as análises efetuadas (ABTS, DPPH, FRAP, CFT, FT), posteriormente a F3 e F5, sendo que a F4 e F2 apresentaram os menores teores para FRAP, CFT e FT.

Nesse sentido pode-se concluir que as kombuchas com ora-pro-nóbis (F4, F5, F6 e F7) apresentaram potencial proteico, contudo baixos teores de compostos antioxidantes. A kombucha F3 saborizada com 100% chá preto apresentou potencial antioxidante. A kombucha F1 elaborada com 100% chá verde, apresentou elevado potencial antioxidante.

Diante desse estudo, fica evidente a importância dos compostos bioativos com potencial benefícios a saúde humana, que sejam estudados e implementados no desenvolvimento de novos produtos, como as kombuchas elaboradas neste trabalho, a fim de contribuir com a redução do consumo de açúcares e instigar a sociedade a ter bons hábitos alimentares.

REFERÊNCIAS

[1] ABKOM. **Associação Brasileira de Kombucha**. 2022. Disponível em: <https://abkom.org.br/>. Acesso em: 31 de março de 2022.

[2] AGOSTINI-COSTA, T. S.; WONDRACECK, D.C.; ROCHA, W.D.S.; SILVA, D.B.D. Perfil de carotenóides e polifenóis totais em frutos de *Pereskia aculeata* Miller. **Revista Brasileira de Fruticultura** , v. 34, p. 234-238. Brasília, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/y8tgPpFhNh4qBjyhNHnJrfJ/?lang=en#>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

[3] AHMED, S.; STEPP, J. R. Green tea: The plants, processing, manufacturing and production. **Tea in health and disease prevention**, p. 19-31, 2012.

[4] ARAUJO FILHO, A. A. L. (2022). **Estudo cinético da fermentação de kefir e kombucha em extrato hidrossolúvel de amêndoa de castanha de caju (Anacardium Occidentale L.).** Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2022. Disponível em: < https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/65855/3/2022_dis_aalaraujofilho.pdf>. Acesso em: 09 junho 2023.

[5] BARREIRA, T. F.; PAULA, G. X. D.; PRIORE, S. E.; SANTOS, R. H. S.; e PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Nutrient content in ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata Mill.): unconventional vegetable of the Brazilian Atlantic Forest. **Food Science and Technology** [online]. 2021, v. 41, suppl 1, p. 47-51. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fst.07920>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

[6] BERTELI, T. S. **O impacto da estimulação ovariana, fertilização in vitro, vitrificação de oócitos e suplementação dos meios de vitrificação com L-carnitina e ácidos graxos no perfil lipídico de oócitos e blastocistos murinos.** 2022. Tese (Doutorado em Ginecologia e Obstetrícia) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2022. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/17/17145/tde-12072022-162148/en.php>. Acesso em: 12 junho 2023.

[7] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019. Estabelece o Padrão de Identidade e Qualidade da Kombucha em todo território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-41-de-17-de-setembro-de-2019-216803534> Acesso em: 31 de março de 2022.

[8] CARVALHO, L. A.; LEAL, L. P.; ARAÚJO, P. M.; SILVA, G. M.; VANDERLEI, M. F. M.; DE MELO, L. R. A.; OLIVEIRA, J. P. P. P.; CARVALHO, V. C.; DE SOUZA, B. V. C. Plantas alimentícias não convencionais e seus principais compostos bioativos. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 11579–11591, 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n3-174. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/58251>. Acesso em: 11 junho 2023.

[9] COELHO, R. M. D.; DE ALMEIDA, A. L.; DO AMARAL, R. Q. G.; DA MOTA, R. N; e DE SOUSA, P. H. M. Kombucha: Review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 22, p. 100272, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100272>. Acesso em: 30 abril 2022.

[10] CRUZ, H. P.; MEDEIROS, A. POTENCIALIDADE DAS FOLHAS DA GOIABEIRA EM FORMULAÇÕES COSMÉTICAS. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 20, n. 43, p. 156-171, 2023. Disponível em: < https://www.conhecer.org.br/enciclop/2023A/potencialidadeXXXXX.pdf>. Acesso em: 10 junho 2023.

[11] DA SILVA, M. A.; DAMIANI, A. P. Uso de planta alimentícia não convencional (PANC) na gastronomia e suas propriedades nutricionais: Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.). **Revista Inova Saúde**, v. 12, n. 2, p. 135-147, 2022. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/Inovasaude/article/view/5079>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

[12] DA SILVA, M. E. S. H. A. **DESENVOLVIMENTO DE UMA KOMBUCHA ALCOÓLICA: PROTÓTIPO INDUSTRIAL.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Curso de Engenharia de Alimentos. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: < http://hdl.handle.net/10183/239316>. Acesso em: 09 junho 2023.

[13] DA SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. D. A.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; e OKAZAKI, M. M. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água.** São Paulo: Blucher, 5 ed. 2017.

[14] DE OLIVEIRA, M. S.; OLIVEIRA, É. S.; DOS SANTOS, J. V.; DA COSTA, N. B.; CARDOSO, D. T.; DA

SILVA SABOIA, C.; MOUCHREK, A. N. Estudo do perfil fitoquímico e avaliação da atividade antioxidante do extrato vegetal de Syzygium cumini. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e37911931808-e37911931808, 2022. Disponível em: < https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31808/27232>. Acesso em: 10 junho 2023.

[15] DUARTE, M.R. e HAYASHI, S.S. Estudo anatômico de folha e caule de *Pereskia aculeata* Mill. (Cactaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia** [online]. 2005, v. 15, n. 2, p. 103-109, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2005000200006>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

[16] FERAREZZI, A. C.; COSTA, T. M. B. **Análise Sensorial**. In. (Org.). Nutrição e Metabolismo: gestão de qualidade na produção de refeições. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 231-247, 2012.

[17] HUEBRA, M. S..; TEIXEIRA, D. A.; MOREIRA, A. P. B. EPIGALOCATEQUINA-3-GALATO DO CHÁ VERDE EM MODELOS EXPERIMENTAIS DE DEMÊNCIA VASCULAR: UMA REVISÃO DE LITERATURA. **Revista Multidisciplinar em Saúde**, [S. l.], p. 209–223, 2022. DOI: 10.51161/rems/3737. Disponível em: <https://editoraime.com.br/revistas/index.php/rems/article/view/3737>. Acesso em: 11 junho 2023.

[18] KATH, M.; PENETADO, C.; FRANÇA, C.; ARAUJO, D.; MOREIRA, D.; MINELLA, G.; LEAL, T.; LEDRA, C.; NUNES, H. e DELWING, A. Desenvolvimento e análise sensorial de kombucha artesanal obtida a partir de plantas alimentícias não convencionais (PANC). **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/5785/3051>. Acesso em: 04 abril 2022.

[19] LI, S.; LO, C.-Y.; PAN, M.-H.; LAI, C.-S.; HO, C.-T. Black tea: Chemical analysis and stability. **Food and Function**, v. 4, n. 1, p. 10–18, 2013.

[20] LOPES, P. M. S.; RODRIGUES, G. L.; COELHO, R. M. D. **Acompanhamento do processo fermentativo durante a produção de Kombucha.** Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Editora IFRN – Memória. Capítulo de livro. Livro-Ciências-Naturais-2021. Natal, Rio Grande do Norte, 2021. Acesso em: < https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/2264/LIVRO-CIE%cc%82NCIAS-NATURAIS-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 junho 2023.

[21] MACÊDO, A. P. A.; DOS SANTOS, M. G.; DA SILVA NETO, O. C.; COUTO, R. D., DAVID, J. M. Caracterização Fitoquímica e Estabilidade Química do Extrato do Chá Verde. **Revista Virtual de Química**, v. 15, n. 1, 2023. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/4422/1023>. Acesso em: 11 junho 2023.

[22] MATTOS, L. A. D. **Caracterização química e potencial de aceitabilidade do chá de Ora-pro nobis (Pereskia aculeata) e erva mate (Ilex paraguariensis).** Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA, Ponta Grossa, Paraná, 2021. Disponível em: < https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/3757/1/Lorena%20Alves%20de%20Mattos.pdf>. Acesso em: 09 junho 2023.

[23] MORAES, L. S.; BENDER, S.; KOTTWITZ, L. B. M. Determinação composicional de amostras de kombuchas acrescidas de polpas de frutas. **Fag Journal Of Health (FJH)**, v. 2, n. 2, p. 252-258, 2020. Disponível em: <https://fjh.fag.edu.br/index.php/fjh/article/view/213>. Acesso em: 10 mai 2022.

[24] MORENO, H.; STIEBE, J.; e MICHIELIN, E. M. Z. **Kombucha: produção, consumo e potencialidades, uma revisão.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2293/Jessica%20e%20Helenita%20-KOMBUCHA%20PRODU%c3%87%c3%83O%2c%20CONSUMO%20E%20POTENCIALIDADES%2c%20UMA%20REVIS%c3%83O.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 maio 2022.

[25] MUSA, K. H.; ABDULLAH, A.; KUSWANDI, B.; HIDAYAT, M. A. A novel high throughput method based on the DPPH dry reagent array for determination of antioxidant activity. **Food chemistry**, v. 141, n. 4, p. 4102-4106, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.112>. Acesso em: 10 mai 2022.

[26] NOGUEIRA SILVA, N. F.; SILVA, S. H.; BARON, D.; OLIVEIRA NEVES, I. C.; CASANOVA, F. Pereskia aculeata Miller as a Novel Food Source: A Review. **Foods**, v. 12, n. 11, p. 2092, 2023. Disponível em: < https://doi.org/10.3390/foods12112092>. Acesso em: 09 junho 2023.

[27] OLIVEIRA, R. D. S.; LUCAS, C. P.; ANTONUCCI, G., DA SILVA, F. C. Compostos bioativos naturais: agentes promissores na redução do extresse oxidativo e processos inflamatórios. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 5, n. 2, 2018. Disponível em:

<https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/1643>. Acesso em: 12 junho 2023.

[28] PAREDES, J. L; ESCUDERO-GILETE, M. L.; VICARIO, I. M. **A new functional kefir fermented beverage obtained from fruit and vegetable juice: development and characterization**. Lwt, [S.L.], v. 154, p. 1-10, jan. 2022. Elsevier BV.2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112728>. Acesso em: 09 junho 2023.

[29] PARK, Y.; IKEGAKI, M.; SILVA, A.; FREIRE, A. (1998). Estudo da preparação dos extratos de própolis e suas aplicações. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** v. 18, n. 3, 1998.

[30] PEZZINI, D. C. Z. **Estudo envolvendo kombuchas produzidas de forma industrialmente e artesanalmente**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco, 2021. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/27835>. Acesso em: 29 abril 2022.

[31] QUIDEAU, S.; DEFFIEUX, D.; DOUAT-CASASSUS, C.; POUYSÉGU, L. Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities, and Synthesis. **Angewandte Chemie International Edition**, 50(3), 586–621. 2011. doi:10.1002/anie.201000044

[32] RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 9/10, pp. 1231–1237, 1999.

[33] REZENDE, R. D. **ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE ACIDIFICAÇÃO DA KOMBUCHA PRODUZIDA COM CHÁ Camellia sinensis VERDE E PRETO.** INSTITUTO FEDERAL GOIANO CAMPUS URUTAÍ. TECNOLOGIA EM ALIMENTOS. Trabalho de Conclusão de Curso. Urutaí, Goiás, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1587/3/tcc_Rayane%20da%20Silva%20Rezende.pdf>. Acesso em: 09 junho 2023.

[34] RUFINO, M. A. R.; SOUSA, E. D. M. S.; DE GOES, C.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. S. F. 2006. **Metodologia científica: Determinação de atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP).** Comunicação Técnica online 125, Embrapa. 2006.

[35] SANTOS, J. S. **Otimização multi-analítica de um extrato aquoso misto a partir de Camellia sinensis var sinensis, Ilex paraguariensis e Aspalathus linearis: propriedades químicas, funcionais e aplicação tecnológica.** 2020. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3324>. Acesso em: 10 junho 2023.

[36] SCHROEDER, J. **Kombucha fermentada a partir de fermentado de acerola.** Trabalho de Conclusão de Curso, 47 f. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2019. Disponível em: < https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/199730>. Acesso em: 04 jun. 2022.

[37] SIERAKOWSKI, M. R. **Aspectos estruturais da mucilagem de Pereskia aculeata, Mill (ora pro nóbis).** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Bioquímica. Curitiba, 1988. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/30018/T%20-%20MARIA%20RITA%20SIERAKOWSKI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 de abril de 2022.

[38] SINGH, R.; RATHORE, D. Oxidative stress defence responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chilli (*Capsicum annum* L.) cultivars grown under textile effluent fertilization. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 123, p. 342–358, 2018. doi:10.1016/j.plaphy.2017.12.027.

[39] SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELARAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of FolinCiocalteau reagent. **Methods Enzymol**., v. 299, p. 152-178, 1999.

[40] SOLA, I. M. M. S. **Otimização da fermentação de erva mate adicionada de pitanga preta (Eugenia uniflora l.) com microrganismos da kombucha.** 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3854>. Acesso em: 10 junho 2023.

[41] SONI, H.; MALIK, J.; SINGHAI, A. K.; SHARMA, S. Antimicrobial and antiinflammatory activity of the hydrogels containing rutin delivery. **Asian Journal of Chemistry**, v. 25, n. 15, p. 8371, 2013. Disponível em: <https://asianjournalofchemistry.co.in/User/ViewFreeArticle.aspx?ArticleID=25_16_29>. Aceso em:

09 junho 2023.

[42] WATAWANA, Mindani I. et al. Health, Wellness, and Safety Aspects of the Consumption of Kombucha. **Journal of Chemistry**, v. 2015, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/591869>. Acesso em: 29 abril 2022.

[43] XING, L.; ZHANG, H.; QI, R.; TSAO, R.; MINE, Y. Recent advances in the understanding of the health benefits and molecular mechanisms associated with green tea polyphenols. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 67, n. 4, p. 1029-1043, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jafc.8b06146>. Acesso em: 01 maio 2022.

[44] YANG, Q.-Q.; GAN, R.-Y.; GE, Y.-Y.; ZHANG, D.; CORKE, H. Polyphenols in common beans (Phaseolus vulgaris L.): chemistry, analysis, and factors affecting composition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 6, p. 1518–1539, 2018. DOI 10.1111/1541-4337.12391. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12391>. Acesso em: 11 junho 2023.

[45] ZENEBON, O. PACUET, N. S. TIGLEA, P. (São Paulo). Secretaria de Estado de Saúde (org.). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008. 1020 p. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/nutricaobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2022.

Capítulo 10

Elaboração de barra de cereais com reaproveitamento de banana (Musa ssp)

Julie Suzan da Silva
Heron Cesar Marques Faloppa
Dacielly Fernanda Ruiz

Resumo: A elaboração de barra de cereais com banana é direcionada para o aproveitamento máximo da polpa da fruta, sendo utilizadas as frutas maduras e que não foram compradas por consumidores devido a avarias nas cascas e aparência não agradável comercialmente. O presente estudo tem como objetivo a formulação de dois tipos de barras de cereais, um com sabor de banana, e outra com sabor de banana e cacau. A formulação foi desenvolvida através de uma série de experimentos, visando obter um produto com as características sensoriais desejadas. A investigação mercadológica foi conduzida utilizando-se a plataforma Google Formulários, consistindo em dez questões, resultando em 165 respostas. A avaliação sensorial foi realizada considerando os atributos de aparência, aroma, textura, sabor e aceitação global, além da intenção de compra. A análise estatística foi conduzida através de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com um nível de significância de 5%. Em relação aos atributos sensoriais, as amostras apresentaram diferenças significativas ($p>0,05$) em apenas um dos aspectos avaliados, sendo a aparência. A barra de cereal sabor banana – sem cacau indicou uma maior propensão à intenção de compra. A tabela nutricional e a rotulagem foram desenvolvidas conforme as regulamentações estabelecidas pela RDC Nº 429, de 08 de outubro de 2020, RDC n° 727 de 1 de julho de 2022 e IN N° 75, de 08 de outubro de 2020.

Palavras-chave: barra de cereal, aproveitamento, banana, cacau, análise sensorial.

1. INTRODUÇÃO

As barras de cereais consolidaram-se como uma alternativa de alimento matinal prático e nutritivo, fundamentadas no conceito de snacks saudáveis. Estes produtos são obtidos, geralmente, por meio do processo de extrusão de uma mistura composta por sólidos (grãos, frutas, castanhas), agentes ligantes (xaropes, açúcares) e aromas, resultando em um alimento com características sensoriais específicas de dureza e crocância. A formulação permite flexibilidade para atender diferentes públicos, constituindo uma fonte relevante de vitaminas, minerais, fibras e macronutrientes (Sarantopoulos; Oliveira; Canavesi, 2002; Skliutas, 2002).

No âmbito da inovação e desenvolvimento de produtos, destaca-se a utilização de matrizes alimentares como a aveia, devido ao seu alto teor de fibra alimentar, e o aproveitamento integral de subprodutos, como cascas de frutas e sementes. O estado da técnica revela patentes que buscam otimizar o perfil nutricional das barras, substituindo açúcares e gorduras por inulina ou incorporando ingredientes como linhaça e soja, visando não apenas o enriquecimento proteico e funcional, mas também a sustentabilidade no processo produtivo (Gutkoski et al., 2007; Martini Garcez; Srebernich; Hartung, 2006; Souza et al., 2007).

Dentre as matérias-primas vegetais, a banana (Musa spp) assume papel preponderante devido à sua vasta produção nacional e perfil nutricional rico em potássio, vitaminas e carboidratos. Variedades como a Caturra apresentam boa adaptação climática e características organolépticas favoráveis ao processamento. Paralelamente, o mel é empregado como ingrediente funcional, valorizado por suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas e pelo seu processo de produção enzimática natural, que confere qualidades tecnológicas e terapêuticas ao produto final (Ribeiro et al., 2012; Borges et al., 2004; Mazui, 2024; Alvarez-Suarez et al., 2010; Alvarez-Suarez; Giampieri; Battino, 2013; Mundo Das Pragas, 2023).

No que tange aos aspectos regulatórios brasileiros, as barras de cereais são categorizadas como "cereal processado" conforme a Resolução RDC nº 711/2022. A legislação sanitária vigente estabelece critérios rigorosos para a rotulagem de alérgenos, como glúten e lactose, e define os parâmetros de dispensas de registro para essa categoria de produto, conforme disposto na RDC nº 460/2020. O cumprimento dessas normativas assegura a conformidade sanitária e a correta comunicação com o consumidor (ANVISA, 2020; ANVISA, 2022).

2. METODOLOGIA

2.1. ELABORAÇÃO DO PRODUTO

Com o intuito de promover o aproveitamento de alimentos, visando a contribuir com os objetivos do Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN), instituído pela Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006, com vistas a assegurar o Direito Humano à Alimentação Adequada, os integrantes desse trabalho promoveram um reunião online para um *brainstorming*, ou seja, uma técnica de inovação para expressar todas as ideias possíveis para se cumprir com o objetivo proposto, uma vez que o produtor e comerciante de bananas, conhecido de um dos membros, relatou uma média de perdas em recolhimento que pode chegar em até 10% do total que é entregue aos distribuidores por mês. Ou seja, girando em torno de 15000 kg/mês, as perdas podem variar entre 1000 a 1500 kg/mês, onde as diretrizes dos contratos atribuem aos produtores o recolhimento da mercadoria não vendida, sendo pago apenas a venda líquida, acarretando em prejuízos e desperdícios para estes.

Desse modo, corroborando com a disponibilidade dessa matéria-prima na forma de doação para a pesquisa acadêmica, advindas duma propriedade rural localizada no município de Marialva, da região metropolitana de Maringá, decidiu-se por consenso a produção de uma barra de cereais.

Além disso, validando a ideia, integrou-se à formulação ingredientes que promovessem um alimento zero lactose, rico em fibras e adoçado de forma natural, atendendo às tendências de produtos especializados para alergênicos e a um público que procura bem-estar.

Essa pesquisa foi desenvolvida nas dependências da Universidade Estadual de Maringá (UEM), campus Maringá. Os ingredientes banana e mel foram adquiridos da propriedade rural anteriormente mencionada, localizada no município de Marialva, na forma de doação, e os demais foram obtidos no comércio local de Maringá (PR).

Duas formulações foram propostas: a primeira utilizando polpa de banana, mel, aveia em flocos finos e grossos, sementes de abóbora sem casca, óleo de coco e uvas-passas; a segunda utilizando os mesmos ingredientes, porém com adição de cacau na formulação.

A seguir, serão dispostos os fluxogramas básicos dos processos nas Figura 1 e 2:

Figura 1. Fluxograma de processo de produção da barra de cereal de banana sem cacau

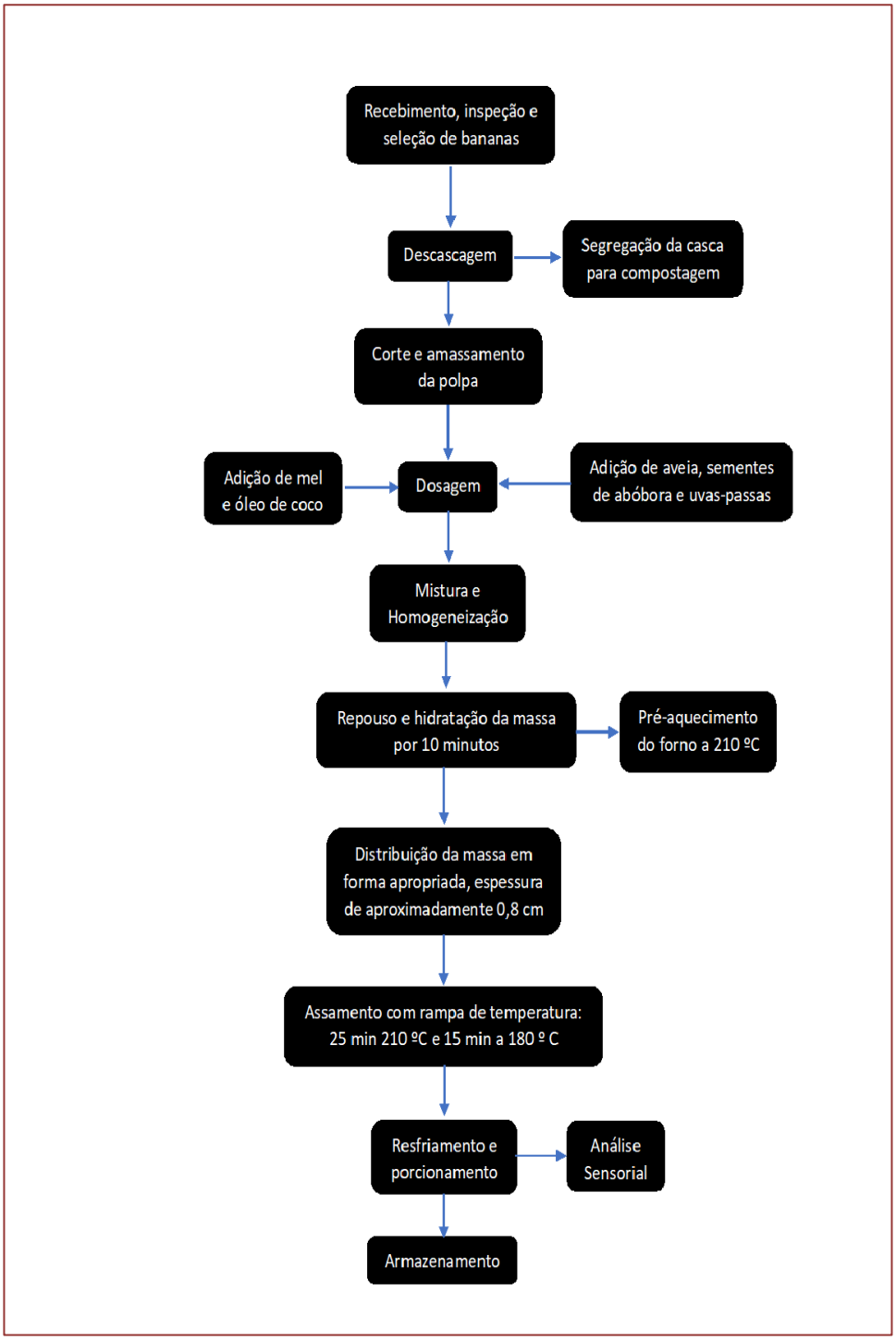
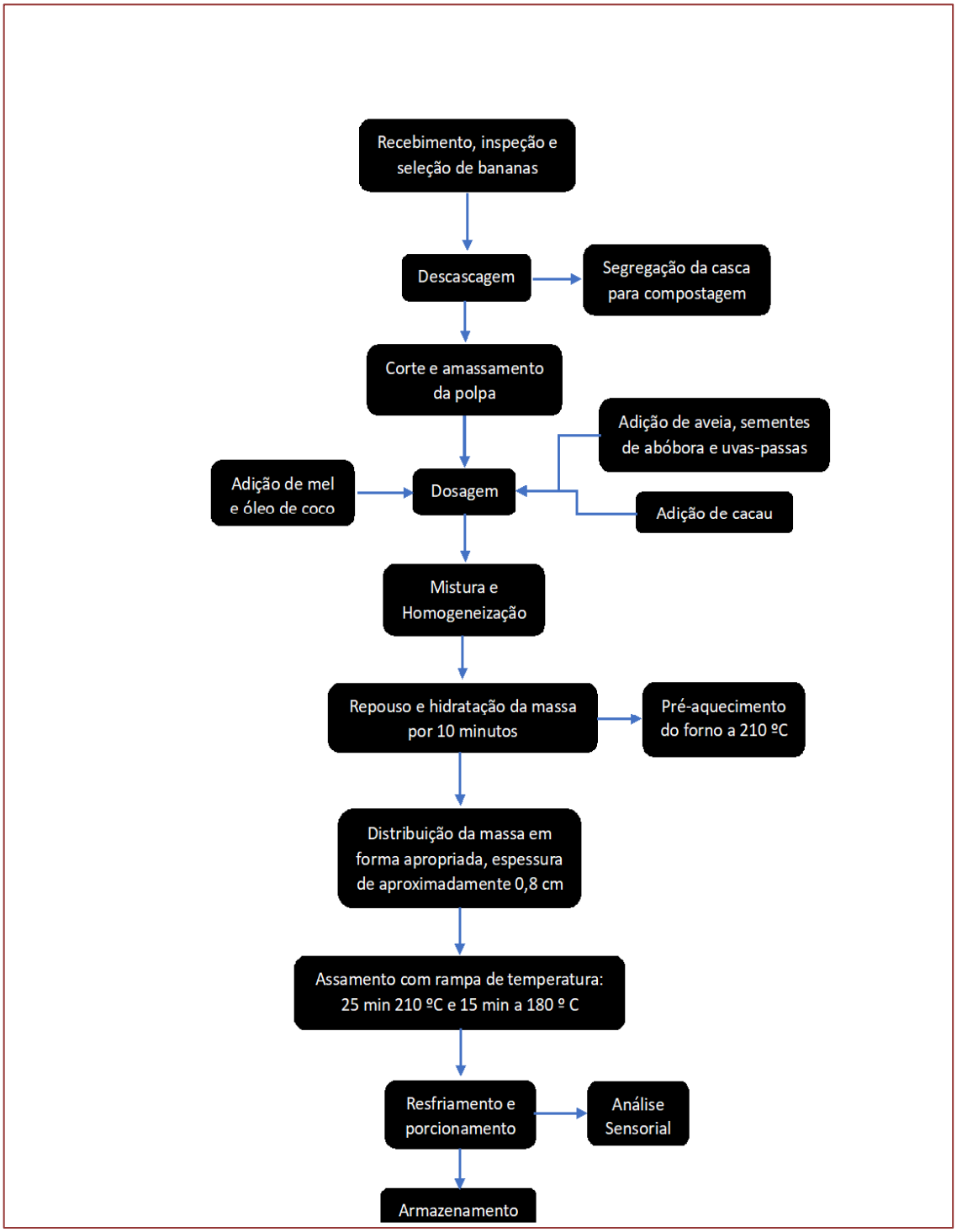


Figura 2. Fluxograma de processo de produção de barra de cereal de banana com adição de cacau



Desse modo, evidencia-se na Figura 1 a sequência de etapas para o desenvolvimento da barra de cereal de bananas sem cacau, com a diferença, segundo a Figura 2, da adição de cacau na etapa de dosagem.

Inicialmente, as bananas foram recebidas, inspecionadas e selecionadas as maduras e livres de defeitos, para garantia da qualidade e conformidade. Em seguida, operou-se a descascagem da fruta, segregando a polpa da casca.

A polpa era grosseiramente picada e na sequência submetida ao amassamento até obter-se uma consistência homogênea. Essa massa obtida era pesada - 270 g para cada formulação - e reservada num recipiente para servir de base para a posterior mistura.

Os ingredientes sólidos (aveia em flocos finos e grossos, sementes de abóbora e uvas-passas) era dosados em balança, nas seguintes quantidades: aveia em flocos finos - 150 g; aveia em flocos grossos - 95 g; sementes de abóbora - 40 g, uvas-passas - 50 g; e em seguida adicionados à massa de banana. Na primeira formulação, todas as matérias-primas anteriores eram selecionadas, dosadas e adicionadas à massa de banana, enquanto na segunda, apenas dosava-se cacau em pó - 5 g por receita - e acrescentava-se à segunda formulação, com intuito de criar uma variação de sabor entre as barras. Já os líquidos (óleo de coco e mel) foram porcionados com auxílio de uma colher de sopa: 2 colheres de sopa de mel (43 g aproximadamente), 1 colher de sopa de óleo de coco (aproximadamente 14 g) e acrescentados, também, à polpa de banana amassada.

Todos os ingredientes devidamente dosados eram misturados até se obter uma massa homogênea e de textura firme.

Na sequência, os dois fornos (sistema forno/fogão a gás) dispostos foram pré-aquecidos por dez minutos, ambos próximos à temperatura de 210 ºC, uma vez que se tratava de marcas diferentes de equipamentos.

Esse período era hábil para o pousio da massa para os sabores e aromas se misturarem de forma homogênea, além dos grãos de aveia absorverem a umidade do mel, óleo de coco e da polpa de banana, contribuindo para a consistência firme e aglutinada da massa a qual se tinha por objetivo.

Após esse período, a massa já descansada e homogênea era distribuída ao longo de uma forma, provida de uma folha de papel antiaderente própria para temperaturas elevadas de convecção, com intenção de afinar a espessura do produto em até aproximadamente 0,8 cm, isto é, nem tão fina a ponto de queimar, e nem tão espessa a ponto de prejudicar a cocção e eliminação de umidade.

Essa massa enformada era assada num sistema de rampas de tempo-temperatura: 25 minutos a 210 °C; 15 minutos a 180 °C. A primeira parte tinha o intuito de gerar uma textura crocante, além de promover a apuração de sabores e aromas. A segunda tinha o objetivo de garantir a cocção da massa, principalmente para que a polpa da banana atingisse em torno dos 74°C.

Após esse intervalo, as formas eram retiradas dos fornos, aguardava-se o resfriamento das barras em temperatura ambiente e procedia-se o porcionamento para degustação, análise sensorial ou armazenamento, a fim de se elaborar um protótipo de embalagem.

Na Tabela 1 foi disposto os ingredientes e quantidades em porcentagem usadas nas formulações:

Tabela 1. Ingredientes em porcentagem (%) nas barras de cereal de banana sem cacau (Formulação 1) e com cacau (Formulação 2)

Ingrediente	Formulação 1	Formulação 2
Polpa de banana	40,79	40,48
Mel	6,50	6,45
Óleo de coco	2,11	2,10
Aveia em flocos finos	22,66	22,49
Aveia em flocos grossos	14,35	14,24
Sementes de abóbora	6,04	6,00
Uva-passas	7,55	7,50
Cacau em pó	-	0,75

Observando da Tabela 1 que a base de cálculo foi entre 662 e 667 g de massa total, considerando uma evaporação de 70 g de água durante a cocção no forno, e dividindo pelo padrão de porcionamento de 25 g adotado pelo mercado de segmento, cada formulação rendeu aproximadamente 23 barras.

2.2. DESCRIÇÃO DE METODOLOGIA DA PESQUISA MERCADOLÓGICA

A pesquisa de mercado consistiu no desenvolvimento de um questionário, isto foi realizado utilizando a plataforma *Google Formulário*, a partir da qual foi criado um questionário contendo 10 perguntas a fim de conhecer os participantes da pesquisa e, ainda, avaliar a intenção de compra do produto.

- Idade;
- Gênero;
- Frequência de consumo de Banana;
- Frequência de consumo de Aveia;
- Frequência de consumo de Uva-Passa;
- Frequência de consumo de Semente de abóbora;
- Frequência de consumo de Cereais;
- Intenção de consumir Barra de cereais feita com aproveitamento integral de Banana;
- Intenção de consumir Barra de cereais feita com aproveitamento integral de banana, zero açúcar e rica em fibras;
- Fatores considerados importantes para consumir uma barra de cereais feita com aproveitamento integral de banana, zero açúcar e rica em fibras (sabor, preço, textura, aparência visual, propriedades nutricionais);

- Valor a ser pago por uma barra de cereais feita com aproveitamento integral de banana, zero açúcar e rica em fibras de 25 gramas (variando de 5 reais até 11 reais).

A pesquisa foi divulgada nas redes sociais e foram obtidas 165 respostas.

2.3. DESCRIÇÃO DE METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO SENSORIAL

Para a análise sensorial foi utilizada escala hedônica, de 1 a 9, sendo 1 "desgostei extremamente" e 9 "gostei extremamente", para avaliar os critérios de aparência, aroma, sabor, textura e aceitação global. Além disso, foi avaliada a intenção de compra das barras de cereais das duas mostras 257 e 473 (Sim, Talvez e não).

A análise sensorial foi realizada na Universidade Estadual de Maringá, com o total de 84 provadores não treinados que receberam duas amostras codificadas, sendo dois códigos diferentes para cada formulação, 257 para a formulação sem cacau e 473 para a formulação com cacau. As amostras foram provadas na parte da manhã e servidas à temperatura ambiente.

Figura 3. Ficha para execução da análise sensorial

Nome:_____ idade:_____ gênero: ( )M ( )F ( )outro
Você está recebendo duas amostras de barra de cereais. Por favor, prove-as e avalie cada item segundo a escala abaixo.
9 – gostei extremamente
8 – gostei muitíssimo
7 – gostei moderadamente
6 – gostei levemente
5 – não gostei nem desgostei
4 – desgostei levemente
3 – desgostei moderadamente
2 – desgostei muitíssimo
1 – desgostei extremamente

Amostra n°		
Aparência		
Aroma		
Sabor		
Textura		
Aceitação global		

Você compraria o produto?

Amostra _____ ( ) Sim ( ) Talvez ( ) Não
Amostra _____ ( ) Sim ( ) Talvez ( ) Não

Fonte: Autores (2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PROJETO DE EMBALAGEM

Figura 4. Projeto para embalagem de barra de cereal sabor banana e sabor banana com cacau

Fonte: Autores (2024).

3.2. TABELA NUTRICIONAL

Para elaboração da rotulagem nutricional foi utilizada a RDC n° 429 de 8 de outubro de 2020 que dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados e a IN n° 75 de 8 de outubro de 2020, que estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Vale destacar que para os produtos apresentados nesta pesquisa, as tabelas com as informações nutricionais obtiveram mesmos resultados e ambas não necessitam de lupa adicional com informação frontal.

Tabela 2. Informação nutricional para as barras de cereais sabor banana com e sem cacau

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL			
Porções por embalagem: 1 porção Porção: 25g (unidade)			
	100 g	**25 g**	**% VD***
Valor energético (kcal)	139	35	2
Carboidratos totais (g)	23	5,6	2
Açúcares totais (g)	6,6	1,6	
Açúcares adicionados (g)	0	0	0
Proteínas (g)	3,9	0,97	2
Gorduras totais (g)	3,1	0,77	1
Gorduras saturadas (g)	1	0,25	1
Gorduras trans (g)	0	0	0
Fibra alimentar (g)	2,9	0,72	3
Sódio (mg)	0,9	0,2	0
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.			

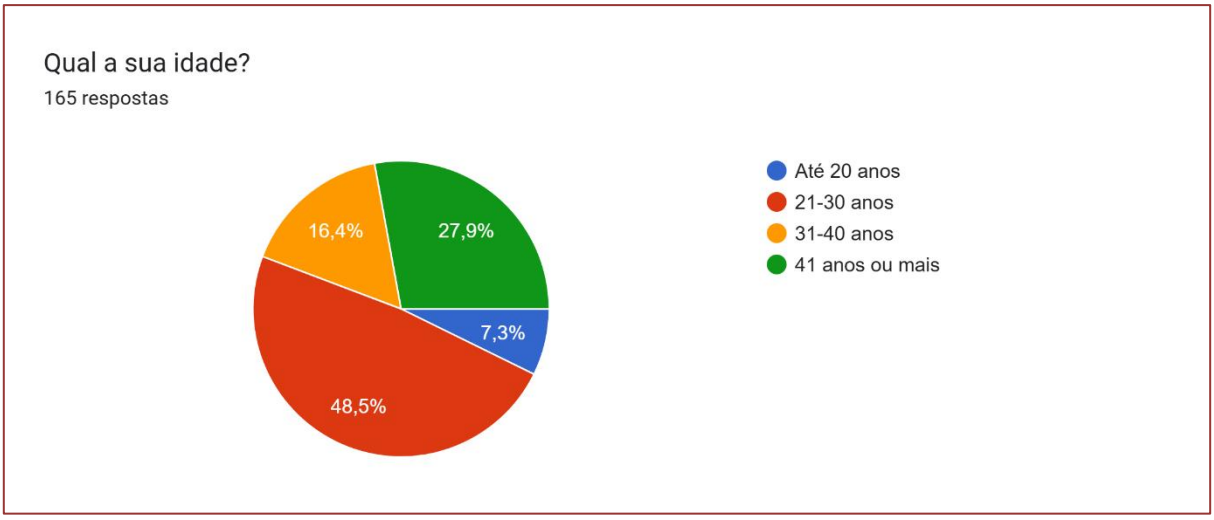
Tabela 3. Informação frontal para as barras de cereais sabor banana com e sem cacau

			referência	condição
LUPA	Açúcares adicionados	0,00	15	normal
	Gorduras saturadas	0,99	6	normal
	Sódio	0,98	600	normal

3.3. PESQUISA DE MERCADO

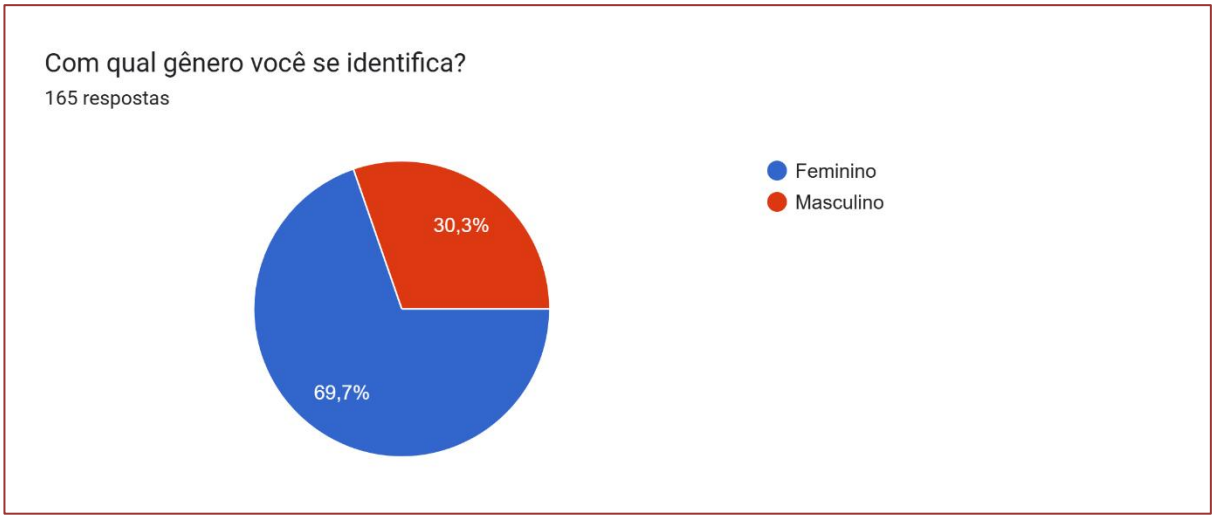
Na análise do mercado, a faixa etária predominante dos entrevistados é de 21 a 30 anos, representando 48,5% do total, conforme mostrado na figura (5). Isso sugere que o público-alvo para a barra de cereais é predominante jovem. De acordo com acordo com Klassen et al. (2018), a indústria alimentícia tem obtido sucesso ao direcionar seu marketing para adolescentes e jovens adultos, investindo em evidenciar suas marcas por meios de anúncios com conteúdo visuais atrativos.

Figura 5. Resultados referentes à faixa etária dos participantes



Já para em relação ao gênero dos participantes, a maioria é do sexo feminino 69,7% enquanto do sexo masculino 30,3%, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6. Resultados referentes ao gênero dos participantes



A respeito da ingestão de ingredientes como banana, aveia, uva-passas e semente de abóbora, foi notado que a maioria das pessoas consome banana frequentemente (36,4%), aveia raramente (42,1%), uva-passas raramente (34,1%) e semente de abóbora nunca (59,4%), conforme ilustrado nas figuras (7), (8), (9) e (10). Em contraste, 59,4% não consomem aveia, como mostrado na figura (9), o que sugere uma preferência maior por esse ingrediente.

Figura 7. Resultados referentes ao consumo de banana

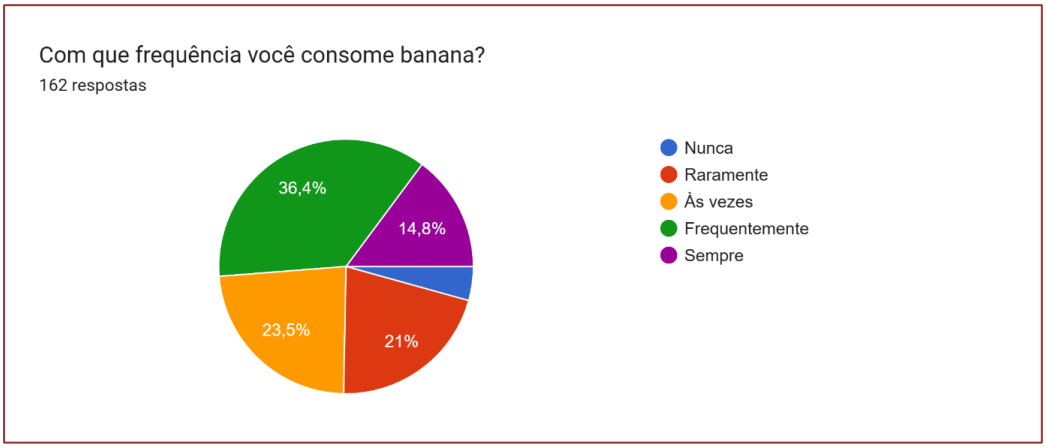


Figura 8. Resultados referentes ao consumo de aveia

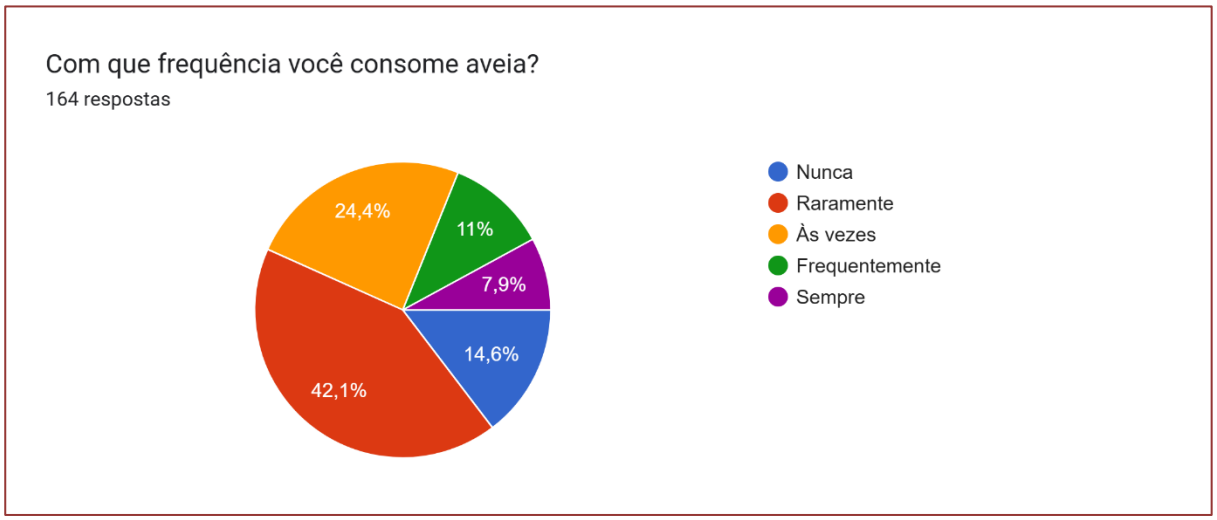


Figura 9. Resultados referentes ao consumo de uva-passas

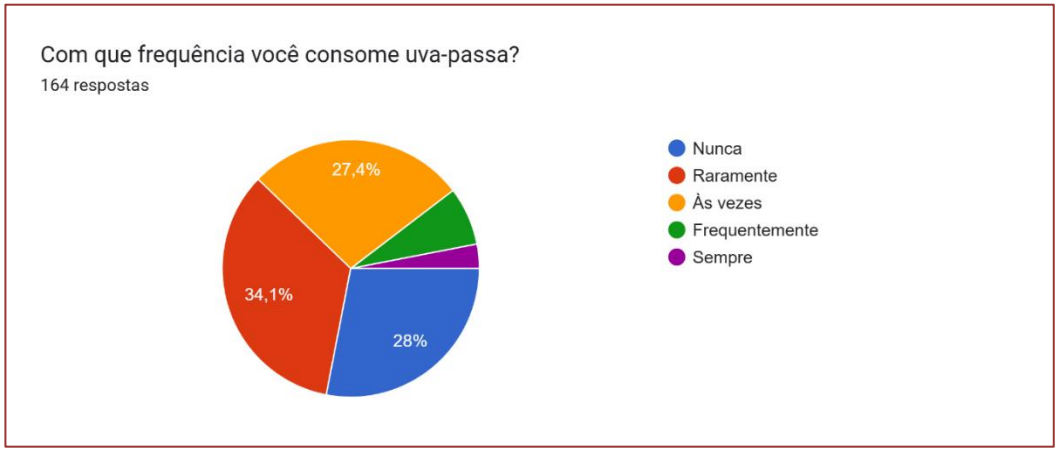
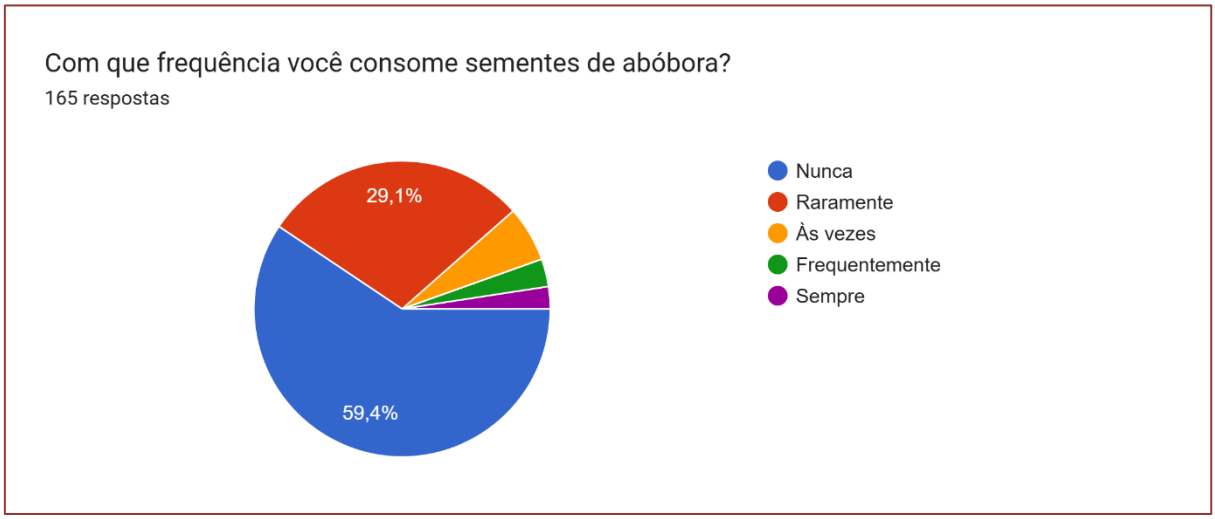
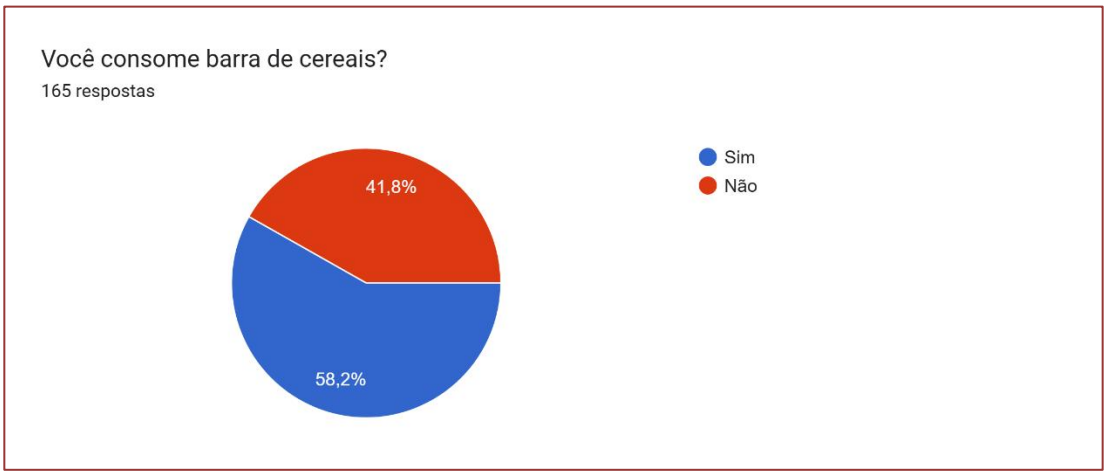


Figura 10. Resultados referentes ao consumo de abóbora



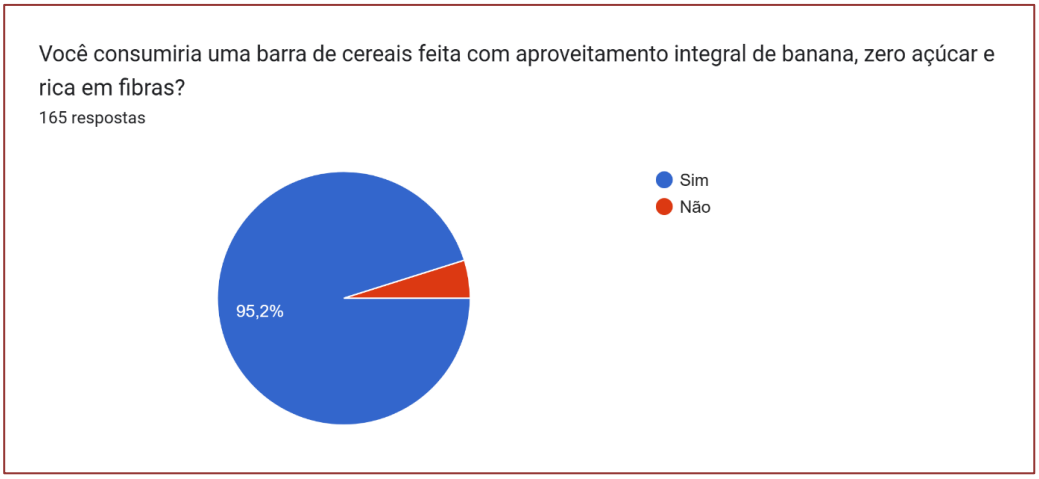
Quanto ao hábito de consumir barra de cereal, a pesquisa mostrou que a maioria consome (58,2%), figura (11).

Figura 11. Resultados referentes ao consumo de barra de cereal



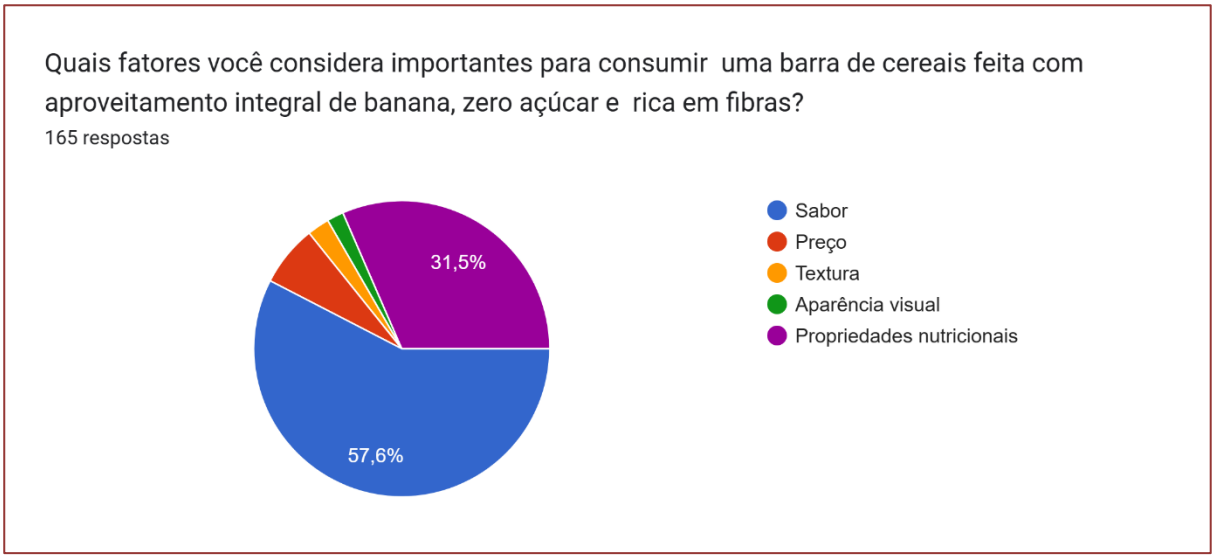
A pesquisa revelou que a maioria dos participantes, 90,8%, mostrou uma forte inclinação para experimentar a barra de cereal proposta figura (12). Esse resultado sugere que a ideia de barra de cereal com aproveitamento de banana é bem aceita entre o público.

Figura 12. Resultados referentes ao consumo de barra de cereal feita com aproveitamento integral de banana



A barra de cereal atraiu consumidores por uma variedade de razões, com o sabor no topo da lista (57,6%), seguido por propriedades nutricionais (31,5%), preço (6,7%), textura (2,4%) e aparência visual (1,8%), como indicado na figura (13).

Figura 13. Resultados referentes aos fatores importantes para os consumidores



3.4. AVALIAÇÃO SENSORIAL

Foram analisadas 84 respostas de avaliadores, todos estudantes e funcionários da Universidade Estadual de Maringá. A maioria dos avaliadores era do sexo feminino, representando 52,4%, enquanto o sexo masculino correspondia a 47,6%. A faixa etária dos participantes variou de 18 a 59 anos, com uma média de 24 anos, sendo que apenas 19% tinham mais de 24 anos. Os resultados estão apresentados na tabela (4) a seguir:

Tabela 4. Avaliação do teste de aceitação das amostras de barra de cereais sem cacau (Formulação 1) e barra de cereais com cacau (Formulação 2)

Atributo	Formulação 1	Formulação 2
Aparência	7,18 ± 1,50[a]	6,51 ± 1,68[b]
Aroma	6,54 ± 1,39[a]	6,58 ± 1,53[a]
Sabor	6,54 ± 1,75[a]	6,42 ± 1,63[a]
Textura	5,73 ± 1,81[a]	5,93 ± 1,96[a]
Aceitação global	6,49 ± 1,50[a]	6,45 ± 1,52[a]

Médias com expoentes diferentes na mesma linha são estatisticamente diferentes (p≤0,05) pela ANOVA e teste de Tukey.

As formulações diferem significativamente apenas para o atributo aparência, devido à presença de cacau, que interferiu diretamente na cor do produto. A formulação 1 não inclui cacau, enquanto a formulação 2 inclui. Isso se relaciona com a preferência de sabores, visto que a maioria dos produtos similares vendidos no mercado, se parecem mais com o produto obtido com a Formulação 1.

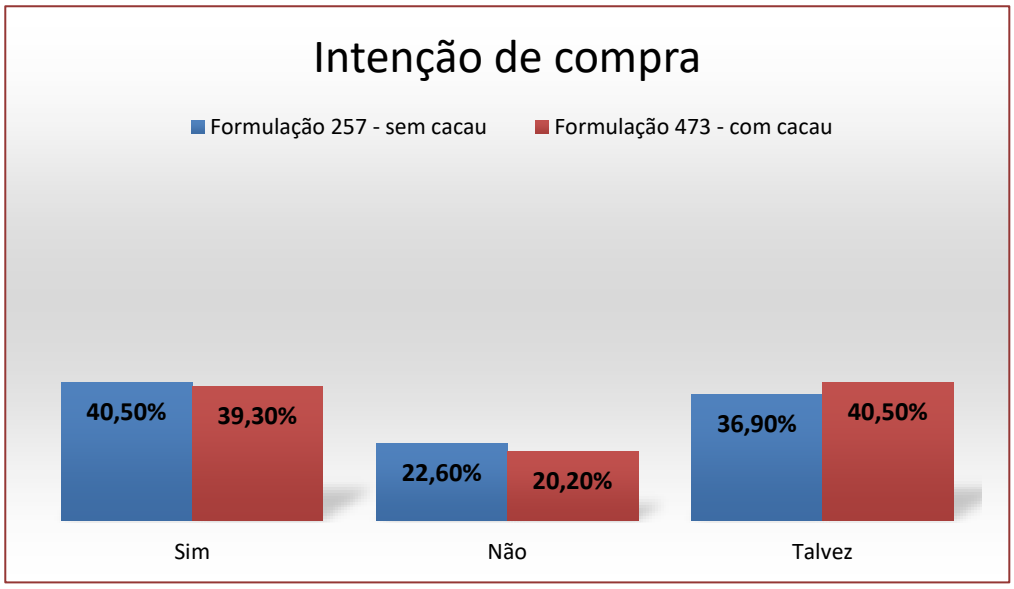
Os consumidores avaliaram as amostras atribuindo notas médias que variam de 5 a 7 em relação aos atributos analisados, sendo sua grande maioria a nota média 6 correspondendo a “gostei levemente”. A Formulação 1 foi a que recebeu maiores notas e sua maior média foi para o atributo aparência com 7,18, enquanto a formulação 2 recebeu menores notas e sua maior média foi para o atributo aroma. O que pode ser explicado devido a presença de cacau conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14. Amostras de barra de cereais

Fonte: Autores (2024).

Adicionalmente, as respostas sobre a intenção de compra de cada amostra também foram examinadas, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15. Intenção de compra das formulações



Apenas 40,50% dos avaliadores manifestaram interesse em adquirir a formulação de barra de cereal sem cacau, enquanto 36,90% expressaram dúvidas e 22,60% afirmaram que não comprariam o produto. Por outro lado, a versão com cacau despertou o interesse de compra em 39,30% dos avaliadores, além de 40,50% manifestando dúvidas e somente 20,20% afirmando que não estariam dispostos em seu consumo.

4. CONCLUSÃO

Com o presente trabalho, foram produzidas duas formulações de barra de cereal com aproveitamento de banana, aveia, semente de abóbora, uva-passas, mel, óleo de coco: uma com cacau, e outra com adição de cacau. Além disso, foram realizadas avaliações mercadológicas e sensoriais para o desenvolvimento deste novo produto. Os resultados indicaram que as amostras se diferiram significativamente ($p>0,05$) apenas para o atributo aparência e foram iguais significativamente em todos os outros atributos sensoriais avaliados. No entanto, é importante ressaltar que a pesquisa foi realizada com uma população restrita, o que pode limitar a generalização dos resultados para uma escala de produção maior, bem como a aceitabilidade do produto pelo público em geral.

REFERÊNCIAS

[1] ALVAREZ-SUAREZ, J.M.; TULIPANI, S.; ROMANDINI, S.; et al. Contribution of honey in nutrition and human health: a review. **Mediterr J Nutr Metab**, v. 3, p. 15–23, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12349-009-0051-6. Acesso em: 26 nov. 2024;

[2] ALVAREZ-SUAREZ, José M.; GIAMPIERI, Francesca; BATTINO, Maurizio. Honey as a Source of Dietary Antioxidants: Structures, Bioavailability and Evidence of Protective Effects Against Human Chronic Diseases. **Current Medicinal Chemistry**, v. 30, n. 5, p. 621-638, fev. 2013. DOI: (PDF) Honey as a Source of Dietary Antioxidants: Structures, Bioavailability and Evidence of Protective Effects Against Human Chronic Diseases. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. Acesso em: 26 nov. 2024;

[3] ALVAREZ-SUAREZ, José M.; GASPARINI, Massimiliano; FORBES-HERNÁNDEZ, Tamara Y.; MAZZONI, Luca; GIAMPIERI, Francesca. The Composition and Biological Activity of Honey: A Focus on

Manuka Honey. **Foods**, v. 3, p. 420-432, 2014. DOI: 10.3390/foods3030420. Disponível em: https://www.mdpi.com/journal/foods. Acesso em: 26 nov. 2024;

[4] ANVISA. Instrução Normativa - IN N° 211, de 1° de março de 2023. Estabelece as funções tecnológicas, os limites máximos e as condições de uso para os aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em alimentos. **Ministério da Saúde** - MS. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa.

[5] ANVISA. Resolução De Diretoria Colegiada - RDC Nº 460, de 21 de dezembro de 2020. Dispõe sobre os requisitos sanitários das fórmulas dietoterápicas para erros inatos do metabolismo. **Ministério da Saúde** - MS. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa.

[6] ANVISA. Resolução De Diretoria Colegiada - RDC Nº 711, de 01 de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. **Ministério da Saúde** - MS. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa.

[7] BOGDANOV, Stefan; JURENDIC, Tomislav; SIEBER, Robert; GALLMANN, Peter. Honey for nutrition and health: a review. 2008. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19155427/. Acesso em: 26 nov. 2024.

[8] BORGES, Ana Lúcia; SOUZA, Luciano da Silva, eds.; TRINDADE, Aldo Vilar et al. O cultivo da bananeira. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, p. 13-16, 2004. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1005043/1/LivroBanana.pdf?form=MG0AV3. Acesso em: 25 nov. 2024.

[9] BRASIL. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome. Caisan: **Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional** (Sisan). Disponível em: https://www.gov.br/mds/pt-br/caisan/sisan. Acesso em: 26 nov. 2024.

[10] GUTKOSKI, Luiz Carlos; BONAMIGO, Jane Maria de Almeida; TEIXEIRA, D\u00E9bora Marli de Freitas; PED\u00D3, Ivone. Desenvolvimento de barras de cereais à base de aveia com alto teor de fibra alimentar. **Food Science and Technology**, v. 27, n. 2, p. 355-363, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cta/a/YZwCCbV5BZnkddcvDXt5znR/abstract/?lang=pt#. Acesso em: 25 nov. 2024.

[11] MARTINI GARCEZ, M. H.; SREBERNICH, S. M.; HARTUNG, K. D. Produto à base de barra de cereal de fruta sem adição de açúcares e gordura, com alto teor de proteína, utilizando a inulina como fonte de fibra solúvel em substituição à parte dos açúcares e da gordura e o seu respectivo processo de obtenção. PI 0601486-0 A8, 10 abr. 2006. Disponível em: https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=704275&SearchParameter=BARRA%20DE%20CEREAL%20%20%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=. Acesso em: 26 nov. 2024.

[12] MAZUI, Guilherme. Diferença entre Banana Prata e Caturra. 2024. Disponível em: https://anamma.com.br/diferenca-entre-banana-prata-e-caturra/?form=MG0AV3. Acesso em: 25 nov. 2024.

[13] MUNDO DAS PRAGAS. Como as abelhas produzem mel? Um guia completo para entender o processo natural. Em Combate a Abelhas, 2023. Disponível em: https://mundodaspragas.com.br/abelhas/como-as-abelhas-produzem-mel-um-guia-completo-para-entender-o-processo-natural/?form=MG0AV3. Acesso em: 26 nov. 2024.

[14] RIBEIRO, Lindinéia Rios; OLIVEIRA, Lenaldo Muniz de; SILVA, Sebastião de Oliveira; BORGES, Ana Lídia. Caracterização física e química de bananas produzidas em sistemas de cultivo convencional e orgânico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 123-135, 2012. Disponível em: SciELO - Brasil - Caracterização física e química de bananas produzidas em sistemas de cultivo convencional e orgânico Caracterização física e química de bananas produzidas em sistemas de cultivo convencional e orgânico. Acesso em: 25 nov. 2024.

[15] SARANTOPOULOS, Claire I. G. L.; OLIVEIRA, Léa Mariza de; CANAVESI, Érica. Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis. 2. ed1. Campinas: CETEA/ITAL, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Claire-Sarantopoulos/publication/354062690_Requisitos_de_conservacao_de_alimentos_em_embalagens_flexiveis/links/6122bcc30c2bfa282a631c18/Requisitos-de-conservacao-de-alimentos-em-embalagens-

flexiveis.pdf. Acesso em: 25 nov. 2024.

[16] SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V.; MILINSK, M. C.; OLIVEIRA, A. N.; MATSUSHITA, M. Processo de obtenção de barra de cereal utilizando casca de frutas e sementes de linhaça. PI 0701170-9 B1, 16 mar. 2007. Disponível em: https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/ImagemDocumentoPdfController?CodDiretoria=200&NumeroID=4a491e3f44d2956f6f133c5dfb8a8a7e855623f0bd5cd051bbb0cd1fece0290a&certificado=undefined&numeroProcesso=&ipasDoc=undefined&codPedido=732170. Acesso em: 26 nov. 2024.

[17] SKLIUTAS, Adriana Ribeiro. Estudo do desenvolvimento de barra dietética de cereais e goiaba desidratada pelo processo de osmose a vácuo com utilização de frutooligossacarídeo. 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado) - **Universidade Estadual de Campinas**, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 2002. Disponível em: https://hdl.handle.net/20.500.12733/1593505. Acesso em: 25 nov. 2024.

Capítulo 11

Kombucha de chás (Camellia sinensis) e ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata Miller) – uma avaliação sensorial

Jean Lucas Ribeiro de Farias
Ellen Porto Pinto
Ellen Cristina Perin

Resumo: O consumo de alimentos e bebidas com apelo funcional tem crescido expressivamente, estimulando o desenvolvimento de produtos que unam benefícios nutricionais e características sensoriais atrativas. Nesse contexto, a kombucha — bebida resultante da fermentação do chá da *Camellia sinensis* — destaca-se por seu potencial e perfil sensorial diferenciado. Entretanto, há limitada disponibilidade de bebidas fermentadas combinadas com plantas alimentícias não convencionais (PANCs), como a ora-pro-nóbis (OP) (*Pereskia aculeata*), reconhecida por seu teor de fibras e proteínas. Partindo de um estudo preliminar em que foram elaboradas e caracterizadas sete formulações de kombucha — cujos resultados físico-químicos e antioxidantes não são discutidos neste capítulo —, três delas apresentaram melhor desempenho e foram selecionadas para avaliação sensorial: F1 (100% chá verde), F3 (100% chá preto) e F5 (50% chá verde + 50% OP). A metodologia envolveu análises microbiológicas de coliformes a 45 °C e *Salmonella*, além de testes sensoriais com 100 julgadores não treinados. Foram aplicados o teste de ordenação, bem como o teste de aceitação, com cálculo do índice de aceitabilidade (IA). Os resultados microbiológicos demonstraram que todas as formulações estavam dentro dos padrões de segurança. No teste de ordenação, só houve diferença estatística entre F1, F3 e F5 para os atributos doçura e carbonatação. Em especial, para a preferência global, as três amostras foram posicionadas no mesmo patamar, indicando percepção sensorial semelhante e sugerindo estabilidade do produto. Entretanto, a análise do IA revelou valores abaixo do recomendado para comercialização, apontando necessidade de ajustes sensoriais nas três formulações. Ainda assim, F3 apresentou melhor desempenho médio, seguida de F1, e F5. Conclui-se que a incorporação de OP é tecnologicamente viável e mantém a preferência sensorial em níveis comparáveis às formulações tradicionais, embora melhorias sejam necessárias para atingir maior aceitabilidade comercial.

Palavras-chave: fermentação, *Camellia sinensis, Pereskia aculeata,* aceitação, avaliação sensorial.

1. INTRODUÇÃO

A kombucha, por ser uma bebida fermentada há muitos anos, pode ser elaborada de diversas formas e podem ser utilizadas várias técnicas de preparo, principalmente quando se trata da fabricação artesanal. Ela deve apresentar sabor agridoce, refrescante e pode conter vestígios de dióxido de carbono provenientes da fermentação, lembrando uma sidra (Santos, 2016).

De acordo com a literatura consultada, o preparo da kombucha possui muitas variações, mas o importante para a Instrução Normativa n° 41 de setembro de 2019, é que sejam adicionados ingredientes obrigatórios (*Camellia sinensis*, açúcar e Scoby) e que sejam atendidos os parâmetros de qualidade (pH, graduação alcoólica, acidez volátil e pressão atm a 20 °C, quando carbonatada artificialmente) além dos critérios de rotulagem (Brasil, 2019).

O chá das folhas e brotos da planta *Camellia sinensis*, é amplamente consumido mundialmente, os principais processamentos conhecidos são: o chá verde, o chá *oolong* (processamento entre o verde e o preto) e o chá preto. O chá verde se caracteriza por não ser fermentado em seu processamento e vem sendo estudado e consumido devido à popularidade dos potenciais benefícios à saúde atribuídos pelo alto teor em polifenóis, seu principal constituinte. Estes têm potencial antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano, anticancerígena, antihiperglicêmica, anticardiovascular e antiobesidade (Soares, 2014; Soares, 2018; Parol, 2019; Xing *et al*., 2019; Passos, 2020).

Outra planta que vem sendo consumida e estudada em função dos seus benefícios é a ora-pro-nóbis, caracterizada como uma planta alimentícia não convencional (PANC). Nas folhas de ora-pro-nóbis, encontram-se aminoácidos essenciais de destaque como triptofano, treonina e a isoleuncina, em menor quantidade também se encontra a metionina, sendo também rica em minerais como cálcio, ferro, zinco, magnésio e manganês, além do seu potencial antioxidante (Moraes et al., 2020). Diante disso, pode-se considerar que as folhas de ora-pro-nóbis podem ser empregadas em formulações de complementação alimentar de crianças e adultos (Takeiti *et al*., 2009; Souza, 2021).

Atualmente, pode-se presumir que já existem muitos produtores artesanais que se desafiam a elaborar a kombucha devido à praticidade e o potencial retorno financeiro. Além disso, possuem a versatilidade de poder promover as mais distintas saborizações conforme seus critérios e paladares, originando distintas composições para a kombucha, algo muito similar ao que ocorre com a fabricação de cervejas artesanais.

Perante o exposto, a grande variedade de saborizações possibilita inúmeras características sensoriais e nutricionais. Muitos produtores, principalmente os que elaboram kombucha de forma artesanal, fazem uso de frutas, sucos, chás e ervas que julgam agregar compostos à bebida. Boa parte deles não inserem estes ingredientes com embasamento científico, diante disso, o presente trabalho visa elaborar uma kombucha que possua características atrativas e benéficas para o consumo, associando tanto os possíveis benefícios do chá verde da *Camellia sinensis* quanto os potenciais benefícios da *ora-pro-nóbis* na etapa de saborização.

No entanto, no desenvolvimento de produtos, entre as características que devem ser levadas em consideração, duas superimportantes são as expectativas e as atitudes dos consumidores em potencial. Nesse sentido, a medição adequada dos fatores e emoções envolvidas terá uma influência decisiva nesse processo. Por esse fato, a análise sensorial se enquadra como uma das ferramentas de maior utilidade durante a inovação e

desenvolvimento de produtos, para melhoria dos mesmos, e garantia do sucesso de captação por parte dos consumidores (Ruiz-Capillas, Herrero, 2021).

Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar o potencial sensorial de kombucha elaborada a partir de chás (*Camellia sinensis*) e ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata Miller*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. AMOSTRAS

Foram inicialmente elaboradas 7 kombuchas utilizando chá verde como precursor no primeiro processo fermentativo. No segundo processo fermentativo (saborização) utilizaram-se as variações dos tipos de chás da *Camellia sinensis* L. (branco, verde e preto) e o chá da ora-pro-nóbis. Os *Scobys* foram adquiridos através de doação de um pequeno produtor comercial; as variedades de chás; as folhas de ora-pro-nóbis; açúcar mascavo e água mineral foram adquiridas comercialmente.

2.2. PREPARO DAS KOMBUCHAS

O preparo das kombuchas foi baseado na metodologia descrita por Watawana *et al*. (2015) e Moreno, Stiebe e Michielin (2021). Na primeira etapa do processo fermentativo (figura 1) utilizou-se somente chá verde e na segunda etapa do processo fermentativo (saborização) (figura 2) efetuou-se o preparo de 7 tratamentos (100% chá verde F1, 100% chá branco F2, 100% chá preto F3, 100% ora-pro-nóbis F4, 50% chá verde com 50% de ora-pro-nóbis F5, 50% de chá preto com 50% de ora-pro-nóbis F6 e 50% de chá branco com 50% de ora-pro-nóbis F7) (v/v). Utilizando em todas as formulações a quantidade de *Scoby* a 4% (m/v) na primeira etapa do processo fermentativo conforme relatado por Schroeder (2019).

Figura 1 – Primeira etapa do processo fermentativo utilizando chá verde

Fonte: Autoria própria (2025).

Vale ressaltar que as folhas de ora-pro-nóbis passaram previamente pelo processo de moagem através do uso de pistilo e almofariz antes de serem adicionadas na etapa de saborização. Este processo promoveu o aumento da superfície de contato para que fosse possível extrair os compostos com maior facilidade.

Após a etapa de envase, as garrafas permaneceram 7 dias sob temperatura ambiente (25 °C) em estufa com circulação de ar, até que fosse observado a completada a carbonatação.

Figura 2 – Segunda etapa do processo fermentativo (saborização)

Fonte: Autoria própria (2025).

Na tabela 1 é possível visualizar as quantidades utilizadas de insumos e materiais para elaborar 8 litros para cada um dos sete tratamentos propostos. Ressalta-se que a quantidade de chá verde, açúcar mascavo, água mineral e *Scoby* foi a mesma para todas as formulações da primeira etapa do processo fermentativo (*F1). Posteriormente, as quantidades dos demais chás variaram conforme as formulações propostas e citadas anteriormente.

O volume de 8 L por tratamento foi escolhido para que fosse possível realizar todas as análises previstas em conjunto com as análises sensoriais. As garrafas PET com capacidade de 500 mL foram escolhidas a fim de preservar as características sensoriais da bebida, principalmente a carbonatação, pois ao serem abertas, a bebida necessita ser consumida imediatamente, caso fossem armazenadas em garrafas maiores poderia ocorrer a perda do gás carbônico e isso afetaria a análise sensorial.

Tabela 1 – Quantidade de ingredientes e insumos utilizados para produzir 8 litros de kombucha por tratamento

Ingredientes e insumos	100% CV (F1)	100% CB (F2)	100% CP (F3)	100% OP (F4)	50% CV + 50% OP (F5)	50% CB + 50% OP (F6)	50% CP + 50% OP (F7)	Quantidade Total
SCOBY (und.)	160 g	160 g	160 g	160 g	160 g	160 g	160 g	1120 g
Chá verde (CV) (g)	40 g	20 g	20 g	20 g	30 g	20 g	20 g	170 g
Chá Branco (CB) (g)	-	20 g	-	-	-	10 g	-	30 g
Chá Preto - (CP) (g)	-	-	20 g	-	-	-	10 g	30 g
Chá ora-pro-nóbis (OP) (g)	-	-	-	20 g	10 g	10 g	10 g	50 g
Açúcar mascavo (g)	400 g	400 g	400 g	400 g	400 g	400 g	400 g	2800 g
Água mineral (L)	8 L	8 L	8 L	8 L	8 L	8 L	8 L	56 L
Garrafa PET (500 mL)	19 und.	19 und.	19 und.	19 und.	19 und.	19 und.	19 und.	133 und.
Vidro (3 L)	2 und.	2 und.	2 und.	2 und.	2 und.	2 und.	2 und.	14 und.
Filtro de papel (unid.)	6 und.	6 und.	6 und.	6 und.	6 und.	6 und.	6 und.	42 und.

Leia CV = Chá verde; CB = Chá branco; CP = Chá preto; OP = Ora-pro-nóbis; und. = Unidade(s)

Fonte: Autoria própria (2025).

2.3. ESCOLHA DE FORMULAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES

Em um estudo prévio (dados não apresentados), foram realizadas determinações físico-químicas e de potencial antioxidante para verificar quais entre as formulações apresentavam maior potencial antioxidante, tais formulações selecionadas foram as F1, F3 e F5 que correspondem respectivamente a:

1. F1 – 100% chá verde
2. F3 – 100% chá preto
3. F5 – 50% chá verde + 50% ora-pro-nóbis

Nesse sentido, as análises microbiológicas e sensoriais foram realizadas apenas nessas três formulações selecionadas, conforme apresentadas a seguir nesse estudo.

2.4. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Na determinação microbiológica foram avaliados quanto a Coliformes a 45°C e *Salmonella*.

Para analisar os Coliformes a 45 °C e *Salmonella* foi utilizado a metodologia descrita por Da Silva *et al*. (2017). No caso dos Coliformes, em um erlenmeyer adicionou-se 25 mL de kombucha pronta para o consumo e 225 mL de água peptonada a 0,1% (representando a diluição 10^{-1}), após a homogeneização realizou-se mais duas diluições seriadas (10^{-2} e 10^{-3}), para isso, em tubos de ensaio foram adicionados 1 mL da solução anterior e 9 mL de água peptonada 0,1 %. Após esse procedimento fez-se necessário realizar a contagem do Número Mais Provável (NMP) de coliformes a 45 °C, utilizando caldo triptose (DIFCO™) e incubando a solução por 48 horas, caso houvesse tubos positivos seria realizado o plaqueamento e a contagem de bactérias para poder comparar com as tabelas de NMP.

Para a análise de *Salmonella*, foi utilizado o método BAM/FDA de 2006, utilizando 25 mL de kombucha efetuando a etapa de pré-enriquecimento do meio com caldo lactosado, o qual permaneceu por 24 horas à 35 °C. Posteriormente, realizou-se a etapa de enriquecimento seletivo utilizando 1 mL do caldo lactosado incubado e 10 mL de caldo tetrationato adicionado de 0,2 mL de solução de iodo e 0,1 mL de solução verde brilhante. Foi coletado 1 mL da cultura e adicionado ao caldo selenito cistina, onde permaneceram incubados a 35 °C por 24 horas.

Após esses procedimentos, se fez necessário realizar o plaqueamento diferencial através do estriamento em placas de Petri contendo ágar verde brilhante e ágar bismuto sulfito, todas as placas foram incubadas novamente a 35 °C por um dia. Caso houvesse a presença de colônias negras com brilho metálico para placas com ágar bismuto sulfito e colônias vermelhas para as placas contendo ágar verde brilhante, seria necessário realizar o procedimento de confirmação através de novo estriamento e incubação, desta vez utilizando ágar tríplice açúcar ferro (TSI) e ágar lisina ferro (LIA). Da Silva *et al*., 2017, relata que havendo mudança de coloração do LIA para púrpura e do TSI para amarelo na zona colunar e vermelho na zona inclinada, as amostras estariam contaminadas com *Salmonella*.

2.5. ANÁLISE SENSORIAL

Para a realização da análise sensorial foi necessário submeter ao Comitê de Ética e Pesquisa (CEP), onde após aprovado conforme o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) 60822922.9.0000.0177 e número do parecer 5.630.541, a análise sensorial foi realizada com base na metodologia descrita por Ferarezzi e Costa (2012) e Nora (2021) com julgadores não treinados, através da aplicação do teste de aceitação e do teste de ordenação (preferência).

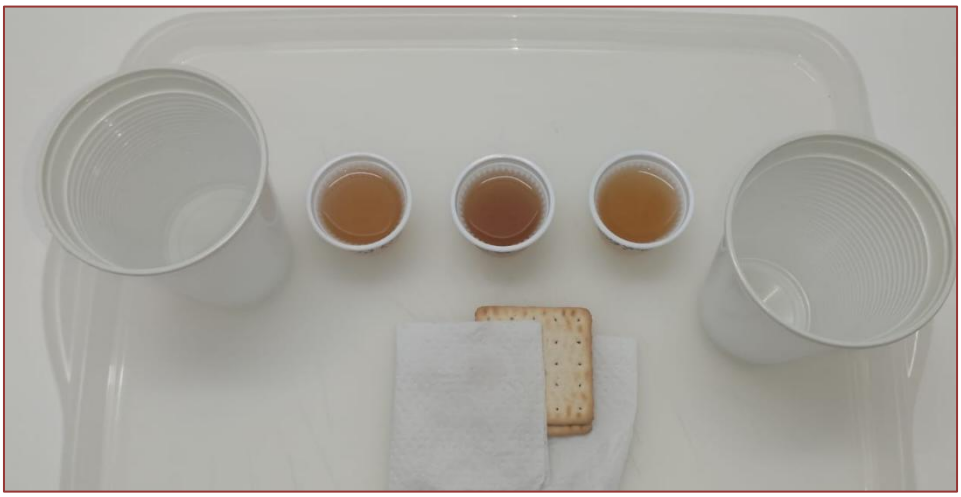
O teste de aceitação consistiu em reunir um determinado número de avaliadores para degustarem o produto, cada um deles teve que expressar positivamente ou negativamente a aceitação do produto, podendo ocorrer de forma global ou até mesmo acerca de uma característica específica listada na ficha de avaliação (em anexo), através dele tornou-se possível medir o quão intenso é o prazer proporcionado pelo consumo do produto. Já o teste de ordenação de preferência foi utilizado principalmente para classificar um produto dentre outros. Conforme relatado por Nora (2021), o teste não leva em conta o gosto pessoal de cada indivíduo, ou seja, não indica se o avaliador gostou ou não do produto, apenas compara e classifica.

As análises sensoriais ocorreram no laboratório de análise sensorial Labsen, dentro da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Francisco Beltrão, para todos os tratamentos escolhidos com base nos resultados dos compostos bioativos, contou com a participação de 100 julgadores. O teste de aceitação foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Pinto (2019) e o teste de ordenação, baseado na metodologia descrita por Alves (2021), ambos com algumas adaptações.

Ambos os testes ocorreram simultaneamente, inicialmente foi elaborada uma ficha de avaliação para cada avaliador, constando o termo de consentimento e questões referentes às características sensoriais da bebida, como por exemplo, aroma e sabor global, acidez, teor de carbonatação entre outras questões pertinentes ao teste de aceitação descrito por Pinto (2019). A kombucha foi oferecida gelada em copos plásticos de 50 mL, contendo aproximadamente 30 mL do produto que serviu para efetuar os dois testes (aceitação e ordenação), o conjunto de 3 amostras oriundas dos 3 tratamentos distintos foram codificados e apresentados simultaneamente. Na ficha do teste de aceitação, cada teor avaliado contou com uma escala hedônica verbal, variando de 1 a 9 pontos, em que o número 1 representou a expressão “desgostei muitíssimo” e o 9 “gostei muitíssimo”.

A figura 3 apresenta a bandeja com as amostras respectivas entregues aos avaliadores constando das três formulações previamente codificadas de forma aleatória.

Figura 3 – Amostras distribuídas nas análises sensoriais dispostas da esquerda para direita, sendo a primeira a formulação (F1), a segunda (F3) e a terceira a (F5)



Todas as amostras foram codificadas a fim de não ocorrer interferência nas análises devido a ordem de apresentação. F1 = 100% (v/v) chá verde, F3 = 100%(v/v) chá preto, F5 = 50%(v/v) chá verde com 50%(v/v) de ora-pro-nóbis.

Fonte: Autoria própria (2025).

Seguindo a metodologia de Alves (2021), a ficha referente ao teste de ordenação foi solicitada a classificação das amostras ordenadamente de forma crescente de acordo com a preferência dos avaliadores. Atribuindo a ordem 1 a amostra de maior preferência e a 7 de menor preferência. Os resultados do teste de ordenação foram apresentados de forma ordinal então serem calculados pela soma das ordens para cada amostra. Posteriormente, foi realizada avaliação estatística utilizando o teste de Friedman, usando a tabela de Newell e MacFarlene (Alves, 2021).

2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi efetuada as médias avaliadas por erro-padrão, posteriormente os valores foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com 5% de significância ($p<0,05$). Utilizou-se o software Statistica 14.0.0.15 para analisar os dados obtidos aplicando os testes adequados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA

Após definir as três formulações para seguir com o estudo, baseado nos maiores teores de compostos antioxidantes, foi necessário realizar a análise microbiológica. O resultado obtido para a metodologia do Número Mais Provável (NMP) de coliformes a 45 °C, com intervalo de confiança a nível de 95% de probabilidade, para diversas combinações de tubos positivos em séries de três tubos está apresentado na tabela 2 NMP^{-1} contida no livro de Da Silva *et al*. (2017) que indica que o valor a ser expresso foi < 3,0 NMP / mL analisada. Logo, apresentaram-se aptas para o consumo e consequentemente aptas para prosseguir o estudo com as análises sensoriais das três amostras escolhidas e analisadas.

Tabela 2 - Número Mais Provável (NMP) e intervalo de confiança de 95% de probabilidade, para diversas combinações de tubos positivos em séries de três tubos. Quantidade inoculada de kombucha 0,1 – 0,01 e 0,001 mL

Formulações	Combinação de tubos +	NMP / mL	Intervalo de confiança (95%)	
			Mínimo	Máximo
F1	0 - 0 - 0	< 3,0	-	9,5
F3	0 - 0 - 0	< 3,0	-	9,5
F5	0 - 0 - 0	< 3,0	-	9,5

Leia F1 = 100% (v/v) chá verde, F3 = 100%(v/v) chá preto, F5 = 50%(v/v) chá verde com 50%(v/v) de ora-pro-nóbis.

Fonte: Autoria própria (2025).

Para a metodologia BAM/FDA de 2006 de contagem de *Salmonella* em 25 mL de amostra de kombucha, todas as três formulações analisadas não resultaram em crescimento microbiológico. Portanto, pode-se afirmar que houve ausência de *Salmonella* em 25 mL de kombucha analisados por este método, também descrito por Da Silva *et al.* (2017).

3.2. AVALIAÇÃO SENSORIAL

Os resultados obtidos na avaliação sensorial seguem apresentados na tabela 3, onde foram tabelados e tratados estatisticamente conforme os testes sensoriais aplicados, sendo eles, o Teste de Ordenação e o Teste de Aceitação. Logo após também foi calculado o Índice de Aceitabilidade (IA).

Tabela 3 – Valor médio para os atributos de análise sensorial: aparência, odor, acidez, doçura, carbonatação e preferência global, obtidos pelo teste de ordenação, aceitação de compra e cálculo do índice de aceitabilidade (IA) em % de formulações de kombucha elaborados a partir de tipos de chás e ora-pro-nóbis

Teste de Ordenação	F1	F3	F5
Aparência	1,90 ± 0,81 a	2,07 ± 0,89 a	2,05 ± 0,73 a
Odor	2,08 ± 0,79 a	1,98 ± 0,83 a	1,95 ± 0,83 a
Acidez	1,97 ± 0,81 a	2,01 ± 0,83 a	2,05 ± 0,82 a
Doçura	2,12 ± 0,81 a	1,83 ± 0,78 b	2,05 ± 0,85 ab
Carbonatação	1,80 ± 0,85 b	2,21 ± 0,82 a	1,97 ± 0,73 ab
Preferência Global	1,96 ± 0,83 a	1,95 ± 0,86 a	2,09 ± 0,77 a
Teste de Aceitação	F1	F3	F5
Aparência	6,72 ± 1,50 a	6,59 ± 1,69 a	6,79 ± 1,62 a
Odor	5,56 ± 1,84 a	6,15 ± 1,77 a	6,02 ± 1,87 a
Acidez	6,35 ± 1,71 a	6,47 ± 1,79 a	5,62 ± 2,14 b
Doçura	5,68 ± 1,89 ab	6,30 ± 1,89 a	5,61 ± 2,16 b
Carbonatação	6,41 ± 1,80 a	5,67 ± 2,01 b	5,97 ± 1,86 ab
IA*	F1	F3	F5
Aparência	74,67	73,22	75,53
Odor	61,78	68,33	66,89
Acidez	70,56	71,89	62,44
Doçura	63,11	70,00	62,33
Carbonatação	71,22	63,00	66,33
IA médio	68,27	69,29	66,70

Médias ± desvio padrão seguido por letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste Tukey ($p \leq 0.05$) entre formulações.

*Valores obtidos pela equação: IA = (valor médio x 100) / valor máximo obtido pelo atributo). Leia F1 = 100% (v/v) chá verde, F3 = 100%(v/v) chá preto, F5 = 50%(v/v) chá verde com 50%(v/v) de ora-pro-nóbis.

Fonte: Autoria própria (2025).

Analisando os resultados do teste de ordenação nota-se que os atributos de aparência, odor, acidez e preferência global, foram considerados estatisticamente iguais pelo teste de Tukey com $p \leq 0.05$. Em relação ao atributo de aparência, ambas as kombuchas apresentaram semelhanças, apenas a formulação com chá preto se destaca em relação à coloração.

Observando o atributo preferência global, em que consiste em ordenar as amostras preferidas em ordem crescente (a mais preferida primeiro). Os resultados não obtiveram diferença significativa, logo as três amostras apresentaram-se no mesmo patamar de escolha. Sendo, portanto, um excelente resultado, pois indica que os demais atributos avaliados obtiveram a impressão global entre as amostras de maneira uniforme. Podendo ser um indício de estabilidade do produto e boa aceitabilidade.

No teste de ordenação os únicos parâmetros que tiveram diferença significativa entre as amostras, foram a doçura e carbonatação. Com relação a doçura as formulações (F1) e (F5) não diferiram estatisticamente, vale lembrar que ambas as formulações possuem chá verde em sua composição.

A formulação (F1) foi a que apresentou menor teor de sólidos solúveis totais em estudo prévio, ou seja, menor doçura e (F5) o maior teor, logo, maior doçura. Na análise sensorial, o atributo doçura do teste de ordenação (tabela 3), a formulação (F1) foi a que apresentou maior aprovação por parte dos avaliadores, seguida da formulação (F5).

O parâmetro de doçura, está diretamente relacionado a quantidade de açúcares residuais provenientes da adição inicial de substrato para o preparo das kombuchas, seu consumo pelos microrganismos durante os processos fermentativos promove alteração no sabor do produto e podem influenciar na análise sensorial (Tran *et al*., 2020).

Em relação a carbonatação, a formulação (F1) apresentou igualdade estatística com a formulação (F5), ambas possuindo chá verde em sua composição. Conforme estudado neste trabalho o chá verde vem sendo apresentado como precursor para a elaboração da kombucha e a carbonatação é um dos produtos do processo fermentativo após o consumo do substrato (Dutta; Paul, 2019) e o gás produzido, influencia no sabor perceptível ao consumidor (Paludo, 2017). Na figura 4 é possível observar as garrafas carbonatadas.

Figura 4 – Kombuchas envasadas e carbonatadas, prontas para a refrigeração

Fonte: Autoria própria (2025).

O teste de aceitação é baseado na escala hedônica de 9 pontos, em que a pontuação 1 indica desgostei muitíssimo e a pontuação 9 indica gostei muitíssimo. De modo geral, ao observar os resultados dos parâmetros analisados, a pontuação média ficou entre 6 e 7 pontos, logo, convertendo para a escala hedônica utilizada, os resultados correspondem a gostei ligeiramente e gostei moderadamente.

Por se tratar de um grupo de avaliadores não treinados e muitos deles não conhecerem o produto até o dia da análise, pode-se verificar que as kombuchas obtiveram uma boa pontuação. Pois o produto ainda possui alto valor agregado e muitas pessoas não têm condições de adquirir a bebida pronta ou até mesmo os insumos para efetuar uma produção caseira, sem contar a falta de conhecimentos tecnológicos (Simões; Rodrigues, 2023).

No teste de aceitação, houve diferença estatística significativa nos parâmetros de doçura, acidez e carbonatação. Em relação à acidez, ela pode ser percebida pelo olfato e pelo paladar, conforme abordado nesse estudo, em que os ácidos orgânicos produzidos na kombucha, principalmente o ácido acético, glicurônico e glucônico, podem acarretar a

diminuição da aceitabilidade da kombucha (Vitas et al., 2018). Isso pode ter ocorrido com a formulação (F5), justificando a pontuação obtida.

Em relação a doçura, a formulação com maior pontuação foi a (F3), logo pode-se afirmar que os avaliadores optaram por kombuchas com o teor de sólidos solúveis totais inferior a 4,0, pois este foi o resultado para a formulação (F5) que apresentou menor aceitabilidade neste parâmetro avaliado. Apesar da diferença em sólidos solúveis totais (°Brix) ser numericamente baixa, os avaliadores sensoriais deste trabalho, optaram pelas kombuchas mais ácidas.

Contudo, Rossoni (2019) afirma que os brasileiros têm uma preferência cultural por alimentos com sabor adocicado. No entanto, a kombucha, que está em fase inicial de expansão no mercado, apresenta um sabor ácido a que os consumidores ainda estão se acostumando.

Em relação ao Índice de Aceitabilidade, as kombuchas avaliadas apresentaram boa aceitabilidade em relação ao parâmetro aparência, a IA foi maior que 70%. Para o parâmetro acidez, as formulações (F1) e (F3) apresentaram-se acima de 70%. No parâmetro de doçura a amostra (F3) apresentou melhor aceitabilidade (70%). A amostra mais carbonatada foi a (F1) e observando os valores médios de (IA) ficou evidente que as três formulações necessitam de ajustes para serem comercializadas. Contudo, a formulação (F3) apresentou melhor desempenho médio, posteriormente a formulação (F1) e por último com diferença de 1,57% a formulação (F5).

Convertendo essas porcentagens na escala hedônica, pode-se afirmar que as formulações foram aceitas, atingindo média de pontuação entre 6 (gostei ligeiramente) e 7 (gostei moderadamente).

No trabalho de Kath *et al*. (2020) o IA obtido para as formulações de chá verde com uva foi de 57,76 % e a formulação de chá verde com hibisco foi de 63 %. Os resultados obtidos nesse trabalho superaram esses índices de aceitabilidade.

4. CONCLUSÕES

As análises microbiológicas realizadas nesse estudo não apresentaram crescimento, portanto, foram consideradas seguras para o consumo.

Em relação ao Índice de Aceitabilidade (IA) médio avaliado na análise sensorial, todas as formulações obtiveram uma porcentagem de aceitabilidade acima de 66%, em que a F3 (69,29%) obteve maior índice. A kombucha F3 saborizada com 100% chá preto apresentou maior potencial sensorial, seguida da F1 e então a F5.

Esses resultados juntamente com demais avaliações realizadas em estudo prévio, demonstram o potencial de desenvolvimento de kombuchas com variação na saborização, incluindo a adição de ora-pro-nóbis. Estudos futuros para ajustes das formulações também são esperados visando melhor aceitabilidade e alcance de diferentes potenciais consumidores.

REFERÊNCIAS

[1] ALVES, A. C. **Análise sensorial:** uma revisão sobre os métodos sensoriais e a aplicação dos testes afetivos em alimentos práticos para consumo. 2021. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/33683>. Acesso em: 04 jun. 2022.

[2] BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 41, de 17 de setembro de 2019. Estabelece o Padrão de Identidade e Qualidade da Kombucha em todo território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-41-de-17-de-setembro-de-2019-216803534> Acesso em: 31 de março de 2022.

[3] DA SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. D. A.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; e OKAZAKI, M. M. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água.** São Paulo: Blucher, 5 ed. 2017.

[4] DUTTA, H.; PAUL, S. K. Kombucha drink: production, quality, and safety aspects. In: **Production and management of beverages**. Woodhead Publishing, 2019. p. 259-288. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128152607000080>. Acesso em: 30 abril 2022.

[5] FERAREZZI, A. C.; COSTA, T. M. B. **Análise Sensorial**. In. (Org.). Nutrição e Metabolismo: gestão de qualidade na produção de refeições. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 231-247, 2012.

[6] KATH, M.; PENETADO, C.; FRANÇA, C.; ARAUJO, D.; MOREIRA, D.; MINELLA, G.; LEAL, T.; LEDRA, C.; NUNES, H. e DELWING, A. Desenvolvimento e análise sensorial de kombucha artesanal obtida a partir de plantas alimentícias não convencionais (PANC). **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/5785/3051>. Acesso em: 04 abril 2022.

[7] MORAES, L. S.; BENDER, S.; KOTTWITZ, L. B. M. Determinação composicional de amostras de kombuchas acrescidas de polpas de frutas. **Fag Journal Of Health (FJH)**, v. 2, n. 2, p. 252-258, 2020. Disponível em: <https://fjh.fag.edu.br/index.php/fjh/article/view/213>. Acesso em: 10 mai 2022.

[8] MORENO, H.; STIEBE, J.; e MICHIELIN, E. M. Z. **Kombucha: produção, consumo e potencialidades, uma revisão.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2293/Jessica%20e%20Helenita%20-KOMBUCHA%20PRODU%c3%87%c3%83O%2c%20CONSUMO%20E%20POTENCIALIDADES%2c%20UMA%20REVIS%c3%83O.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 maio 2022.

[9] NORA, F. M. D. **Análise sensorial clássica [livro eletrônico]: fundamentos e métodos.** Canoas, RS: Mérida Publishers, 2021. Disponível em <https://meridapublishers.com/l11analise/l11analise.pdf#page=63>. Acesso em: 23 mai. 2022.

[10] PALUDO, N. **Desenvolvimento e caracterização de kombucha obtida a partir de chá verde e extrato de erva-mate: processo artesanal e escala laboratorial.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Curso de Engenharia de Alimentos, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/174899>. Acesso em: 30 abril 2022.

[11] PAROL, G. **Avaliação da aplicação de extratos de chá branco (Camellia sinensis) e calêndula (*Calendula officinalis*) no preparo de gaze antimicrobiana.** 2019. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9067>. Acesso em: 23 mai. 2022.

[12] PASSOS, R. S. F. T. **Efeito da adição de extrato de chá verde (*Camellia sinensis*) nos parâmetros de qualidade de hambúrguer de frango.** 2020. 67 f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020. Disponível em: <http://www.pgalimentos.far.ufba.br/sites/pgalimentos.far.ufba.br/files/rafael_sepulveda_fonseca_trevisan_passos.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2022.

[13] PINTO, R. D. L. C. **Desenvolvimento, avaliação química e sensorial de um kombucha com suco de graviola para cardápios de meios de hospedagem**. Trabalho de Conclusão de Curso, 44 f. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto Ciências Humanas e Sociais. Seropédica - RJ, 2019. Disponível em: < https://cursos.ufrrj.br/grad/hotelaria/files/2019/12/TCC-Rachel-2019-DESENVOLVIMENTO-AVALIA%C3%87%C3%83O-QU%C3%8DMICA-E-SENSORIAL-DE-UM-KOMBUCHA-COM-SUCO-DE-GRAVIOLA-PARA-CARD%C3%81PIOS-DE-MEIOS-DE-HOSPEDAGEM.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2022.

[14] ROSSONI, M. A. **Desenvolvimento e caracterização da bebida kombucha de erva mate (*Ilex paraguarienses*) utilizando diferentes fontes de carboidratos.** Dissertação de mestrado. Universidade

Federal da Fronteira Sul. Laranjeiras do Sul, 2019. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/3599>. Acesso em: 04 abril 2022.

[15] RUIZ-CAPILLAS, C., et al. Sensory Analysis and Consumer Research in New Meat Products Development. **Foods,***10*(2), 429, 2021. https://doi.org/10.3390/foods10020429

[16] SANTOS, M. J. D. **Kombucha: caracterização da microbiota e desenvolvimento de novos produtos alimentares para uso em restauração.** Tese de Doutorado. Instituto Superior de Agronomia. Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2016. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/19346/1/Santos_2016.pdf>. Acesso em: 29 abril 2022.

[17] SCHROEDER, J. **Kombucha fermentada a partir de fermentado de acerola.** Trabalho de Conclusão de Curso, 47 f. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2019. Disponível em: < https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/199730>. Acesso em: 04 jun. 2022.

[18] SIMÕES, G. D.; RODRIGUES, R. D. S.; Kombucha: conhecimento e consumo. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição-RASBRAN**, v. 14, n. 1, p. 1-18, 2023. Disponível em: <https://rasbran.com.br/rasbran/article/view/2700/426>. Acesso em: 11 junho 2023.

[19] SOARES, M. B. **Efeito dos diferentes chás da camellia sinensis sobre danos causados pela obesidade induzida pela dieta de cafeteria.** 100 p. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Universidade Federal do Pampa, Uruguaiana, 2018. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/5655>. Acesso em: 23 mai. 2022.

[20] SOARES, M. B. **Papel protetor dos chás provenientes da Camellia sinensis sobre atividade da enzima δ-ALA-d de tecido ovariano inibida pelo Cádmio.** 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Pampa, Uruguaiana, 2014. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/187>. Acesso em: 23 mai. 2022.

[21] SOUZA, Y. C. D. **Revisão de literatura: estudo da composição química de aminoácidos e minerais nas folhas de ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata miller)**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Escola de Engenharia, Curso de Engenharia de Alimentos, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/2976>. Acesso em: 02 maio 2022.

[22] TAKEITI, C. Y.; ANTONIO, G. C.; MOTTA, E. M.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; PARK, K. J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (Pereskia aculeata Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. sup1, p. 148-160, 2009. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09637480802534509>. Acesso em: 02 maio 2022.

[23] Tran, T.; Grandvalet, C.; Verdier, F.; Martin, A.; Alexandre, H.; Tourdot-Maréchal, R. Microbiological and technological parameters impacting the chemical composition and sensory quality of kombucha. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 4, p. 2050–2070, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12574>. Acesso em: 11 junho 2023.

[24] VITAS, J.; Vukmanović, S.; Čakarević, J.; Popović, L.; Malbaša, R.. Kombucha fermentation of six medicinal herbs: Chemical profile and biological activity [Kombuha fermentacija šest lekovitih biljaka: Hemijski profil i biološka aktivnost]. **Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly**, v. 26, n. 2, p. 157– 170, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2298/CICEQ190708034V>. Acesso em: 11 junho 2023.

[25] WATAWANA, Mindani I. et al. Health, Wellness, and Safety Aspects of the Consumption of Kombucha. **Journal of Chemistry**, v. 2015, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/591869>. Acesso em: 29 abril 2022.

[26] XING, L.; ZHANG, H.; QI, R.; TSAO, R.; MINE, Y. Recent advances in the understanding of the health benefits and molecular mechanisms associated with green tea polyphenols. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 67, n. 4, p. 1029-1043, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jafc.8b06146>. Acesso em: 01 maio 2022.

Capítulo 12

Potencial antioxidante de variedades de milho pipoca pré e pós processamento

Andrieli Zanon Ronsoni
Ellen Porto Pinto
Ellen Cristina Perin

Resumo: Alimentos que contenham compostos bioativos com potencial antioxidante são altamente procurados nos dias atuais, devido aos seus benefícios à saúde. O milho pipoca é um alimento muito presente no dia a dia da população, porém visto de forma negativa em dietas, por ser considerado calórico e com poucos nutrientes. Compostos com potencial antioxidante estão presentes nas diferentes variedades de milho pipoca pigmentados. A quantidade de compostos é determinada principalmente pela cor do pericarpo do milho pipoca. O processamento dos grãos pode resultar em degradação dos compostos, portanto, existe a necessidade de avaliar como esses compostos reagem as diferentes formas de processamento, entre elas, micro-ondas (recipiente de vidro, pacote de papel e pipoqueira de silicone), panela com óleo, *airfryer* e pipoqueira elétrica. Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados grãos de pipoca com pericarpo amarelo, branco, vermelho e preto. A atividade antioxidante foi determinada pelos métodos ABTS, FRAP e DPPH. Foram avaliados compostos fenólicos totais e flavonoides totais do milho pipoca antes e após o processamento. Nos grãos *in natura*, a variedade preta foi a que apresentou os maiores teores de compostos antioxidantes e a variedade branca, os menores. Pós processamento houve perda da atividade antioxidante em todas as variedades analisadas. Entre as variedades, a pipoca com pericarpo preto resultou nos maiores teores de antioxidantes encontrados na maioria dos métodos de processamento. A variedade branca apresentou os menores valores para a maioria dos processamentos. A panela com óleo foi a forma de expansão onde obteve-se pipocas com maior teor de compostos bioativos e atividade antioxidante, pequeno número de piruás e bom volume de expansão. A *airfryer* foi o equipamento que mais degradou os compostos bioativos, produziu maior número de piruás e menor volume de expansão.

Palavras-chave: pipoca, antioxidante, compostos bioativos, processamento, pericarpo, degradação.

1. INTRODUÇÃO

A crescente ingestão de alimentos ultra processados tem levado a preocupações com a qualidade de vida e impactos negativos na saúde. No entanto, há uma conscientização e busca por alimentos naturais e funcionais (Louzada, 2015; Caivano *et al*. 2017; Beserra *et al*. 2020).

Apesar de ser frequentemente visto como calórico e com baixo teor de nutrientes, o milho pipoca é uma fonte alimentar significativa devido à sua composição. Ele contém carboidratos, proteínas, ferro, fibras e compostos bioativos, como antocianinas, carotenoides, ácidos fenólicos e flavonoides, que possuem potencial antioxidante (Callegaro, 2005). Esses compostos bioativos contribuem para os benefícios à saúde associados ao consumo de milho pipoca.

Os compostos bioativos são nutrientes ou não nutrientes presentes em alimentos de origem animal ou vegetal, que possuem ação metabólica ou fisiológica específica, trazendo benefícios à saúde (Brasil, 2018). Entre esses compostos, destacam-se os antioxidantes, como polifenóis, carotenoides, tocoferóis, fitoesteróis e flavonoides, que possuem propriedades funcionais e podem atuar na prevenção de doenças crônicas e danos celulares (Chaves, 2015). No caso do milho pipoca, ele contém compostos bioativos, encontrados principalmente no pericarpo do grão, incluindo ácidos fenólicos e flavonoides, que apresentam potencial antioxidante (Hung, 2016).

Os flavonoides são o grupo mais numeroso de compostos fenólicos e têm benefícios à saúde, como atividade antioxidante, anti-inflamatória e antitumoral (Hidalgo *et al*. 2010). Os ácidos fenólicos também estão presentes no milho e possuem propriedades antioxidantes, sendo o ácido ferúlico o fenólico predominante no milho (Soares, 2002).

Porém, para ser consumido, o grão precisa passar pelo processo de expansão, que ocorre a altas temperaturas. Alguns estudos mostram que o processamento pode levar à degradação de compostos bioativos, afetando a quantidade de compostos termossensíveis e vitaminas presentes (Barbosa; Lopes; Paes, 2016). Para realizar a expansão, diferentes métodos de processamento, como pipoqueira de ar quente, microondas, *airfryer* e panela com óleo, são utilizados.

Poucas pesquisas foram realizadas sobre a perda de compostos bioativos em diferentes variedades de milho pipoca. Portanto, é necessário avaliar o efeito do processamento nas propriedades bioativas e antioxidantes em diferentes variedades de pipoca.

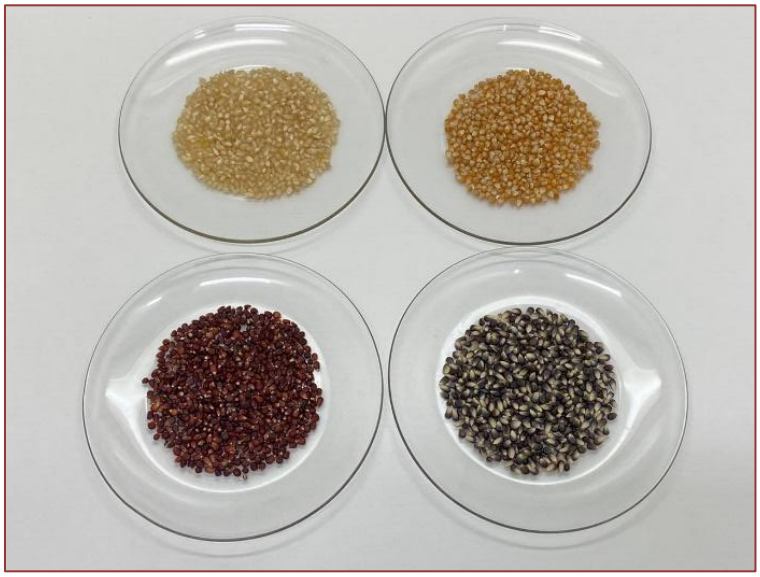
Nesse sentido, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito de diferentes técnicas de processamento sobre os compostos bioativos presentes no milho pipoca de distintas variedades.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

O estudo foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - *Campus* Francisco Beltrão em parceria com o *Campus* Pato Branco. Para o presente estudo foram utilizados grãos de pipoca com pericarpo amarelo, branco, vermelho e preto (Figura 2), os quais foram adquiridos no município de Renascença, Paraná, Brasil.

Figura 1. Milho pipoca com pericarpo branco, amarelo, vermelho e preto



Fonte: Autoria própria (2023).

Para cada variedade de milho pipoca foram avaliados os compostos fenólicos totais e flavonoides totais. A atividade antioxidante foi avaliada pelo método de ABTS, DPPH e FRAP. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Foram avaliados os efeitos do processamento sobre os compostos bioativos presentes nas amostras. Para tal, foram utilizados 6 métodos de expansão (processamento) de grãos. Os métodos incluem *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7). Além disso, também foi avaliado o grão *in natura* (P1). Em trabalho realizado por Paraginski *et al*. (2016) é citada a adição de 4% de óleo, em relação a massa de grãos, para os processos com inclusão de óleo, portanto, o processamento em panela com óleo, os testes foram iniciados adicionando 4% de óleo de soja.

2.2. PADRONIZAÇÃO DOS MÉTODOS DE EXPANSÃO

A obtenção do milho pipoca expandido foi realizada baseando-se na metodologia descrita por Paraginski (2014), com adaptações. Os grãos foram expandidos nos diferentes equipamentos, com testes prévios para determinar tempo, temperatura e quantidade ideal para cada equipamento. O tempo final de expansão foi determinado considerando o tempo de 5 segundos entre a expansão de um grão e outro.

Para a *airfryer*, a melhor forma encontrada foi utilizar 50 gramas de grãos, por 15 minutos, a uma temperatura de 200 °C. Foi colocado papel alumínio para evitar que os grãos caíssem entre as aberturas do cesto.

Na pipoqueira elétrica, determinou-se que a melhor forma é utilizar 80 gramas de grãos, por 3,40 minutos.

Na expansão em panela com óleo, foram considerados quatro parâmetros principais: quantidade de grãos, tempo, temperatura e quantidade de óleo. A melhor forma encontrada foi utilizar 80 gramas de pipoca, por 6 minutos, com 12 gramas de óleo (15%).

No caso da expansão em recipiente de vidro no micro-ondas, foi determinado que a melhor forma é utilizar 50 gramas de milho pipoca, adicionar 5 mL de água e aquecer por 3,35 minutos, em uma potência de 100 W.

Já a expansão em pacote de papel no micro-ondas requer 50 gramas de grãos, que devem ser aquecidos por 1,50 minutos, a uma potência de 100 W.

Por fim, na pipoqueira de silicone no micro-ondas, a melhor forma de expansão é utilizar 50 gramas de grãos, aquecidos por 2 minutos, a uma potência de 100 W.

2.3. ANÁLISES DOS COMPOSTOS ANTIOXIDANTES

Para determinar o potencial antioxidante das variedades de milho pipoca foram empregados os métodos de sequestro do radical livre DPPH, FRAP e ABTS. Além disso, foi estimado o teor total de compostos fenólicos e flavonoides a partir de um extrato.

O extrato foi obtido, com adaptações, da metodologia proposta por Horvat et al. (2020). Inicialmente, o conteúdo total de pipoca expandida obtido em cada processamento, excluindo os piruás, foi triturado em um liquidificador. Para os grãos in natura foram triturados 20 gramas em liquidificador. Em seguida, foram pesadas 0,5 gramas de amostra em tubos Falcon de 15 mL e adicionadas a 10 mL de metanol acidificado (0,1% HCl PA). Posteriormente, foram homogeneizadas em vórtex por 2 minutos e deixadas em banho ultrassônico durante 60 minutos. Após os 60 minutos, as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm por 5 minutos. Em seguida, o sobrenadante foi recolhido e armazenado. Com o resíduo da centrifugação adicionou-se 5 mL do mesmo solvente, deixando em banho ultrassom por mais 30 min. Por fim, a amostra foi centrifugada nas mesmas condições e juntou-se os sobrenadantes.

2.3.1. MÉTODO DE SEQUESTRO DO RADICAL LIVRE DPPH

Segundo Kedare e Singh (2011), esse método foi desenvolvido por Blois (1958), com o objetivo de determinar a atividade antioxidante usando o radical livre estável α, α-difenil-β-picrilhidrazil.

O DPPH é um radical de nitrogênio orgânico, estável e de coloração violeta, com absorção entre 515-520 nm.

O método baseia-se na transferência de elétrons pela ação de um antioxidante ao radical DPPH, que quando reduzido a difenil-picril-hidrazina, passa para a coloração amarela, e como consequência, ocorre a diminuição da absorção (Prado, 2009).

A atividade antioxidante pelo método DPPH foi determinada com o uso do reagente Trolox 2000 µM e etanol PA. A curva padrão foi formada com solução Trolox 1000 µM e etanol. A mistura foi agitada em vórtex e a leitura realizada usando um espectrofotômetro a 517 nm, com o instrumento zerado com etanol. Os resultados foram expressos em mM de trolox Kg^{-1} amostra.

2.3.2. MÉTODO FRAP

O método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) é o método de redução do ferro, onde o complexo férrico-tripiridiltriazina (Fe (III)-TPZ) é reduzido ao complexo ferroso (Fe (II)-TPZ), na presença de um antioxidante e em condições ácidas, possuindo uma coloração azul intensa, com absorção máxima a 593 nm (Sucupira, 2012).

A metodologia FRAP foi aplicada através da construção da curva padrão de sulfato ferroso e posterior análise utilizando solução do reagente FRAP, seguindo a metodologia descrita por Pulido *et al*. (2000). Sendo assim, a absorbância utilizada foi de 595 nm com expressão dos resultados em mM Fe+2 g^{-1}.

2.3.3. MÉTODO DE CAPTURA DO RADICAL 2,2-AZINOBIS (3- ETILBENZOTIAZOLINA-6-ÁCIDO SULFÔNICO) ABTS

O preparo e aplicação do radical ABTS nos extratos seguiu a metodologia de Re *et al*. (1999). A curva padrão foi formada com a solução Trolox 2000 µM e etanol, para o branco. A absorbância foi medida com comprimento de onda de 734 nm com resultados expressos em mM TEAC g^{-1} amostra (TEAC: capacidade antioxidante equivalente a Trolox).

2.3.4 .COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

Para determinação dos compostos fenólicos totais (CFT) foi utilizada a metodologia descrita por Singleton *et al*. (1999) com uso do reagente Folin-Ciocalteu 2N e o carbonato de sódio 4%. Primeiramente foi construída a curva padrão utilizando ácido gálico, sendo obtida a sua equação da reta. Para esta análise a absorbância do extrato foi realizada em comprimento de 740 nm em espectrofotômetro (UV-Vis Bel Photonics, 2000 Piracicaba, Brasil) com os resultados expressos em miligramas de ácido gálico por grama (mg GAE g^{-1}).

2.3.5. DETERMINAÇÃO DE FLAVONOIDES

O teor de flavonoides totais foi determinado por metodologia descrita e adaptada por Park *et al*. (1998) e Singh *et al*. (2018), com o uso dos reagentes nitrato de alumínio 10% e acetato de potássio 1M. A curva padrão foi formada por solução padrão de quercetina 2000 µg/mL^{-1} e solução padrão diluída de 200 µg mL^{-1}, com a curva analítica contendo 10, 25, 40, 70, 85, 100 e 150 ppm de quercetina e os resultados foram expressos em µg de quercetina g^{-1}.

2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A avaliação dos dados foi realizada por meio do teste de análise de variância

(ANOVA) e teste de médias de Tukey com nível de significância de 5%, utilizando o software SAS - Statistical Analyses System.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. COMPOSTOS BIOATIVOS

Através da análise de variância (ANOVA) as variáveis e os processamentos se mostraram significativos, com valor F<0,0001. Além disso, as interações entre as variáveis e os processamentos também se mostraram significativos.

Ao analisar os resultados encontrados, confirma-se que todas as formas de processamento afetaram os níveis de atividade antioxidante, compostos fenólicos e flavonoides. Diminuindo seu conteúdo em relação aos grãos *in natura*, com mudanças no impacto gerado sobre cada variedade em cada processo.

É possível que alguns fatores sejam os responsáveis por essa mudança. A temperatura de expansão pode ter sido um fator que propiciou essa diminuição, uma vez que o processamento pode degradar os compostos bioativos, elementos sensíveis a temperaturas muito altas (Oliveira, 2014).

Além disso, de acordo com Coco Jr. e Vinson (2019), o pericarpo do grão de pipoca contém, em média, 98,3% do conteúdo fenólico total e 97,8% da capacidade antioxidante de toda a pipoca. Esse fato, elucida a perda de parte dos compostos, já que a maior parte está presente no pericarpo, afetado diretamente pelo calor de expansão e, ademais, grande parte é perdida e descartada pós processamento.

Segundo estudo realizado por Slavin *et al*. (2009), foram encontrados 25,4 mg 100 g^{-1} de carotenoides em óleo de uma cultivar de soja amarela. De forma geral o processamento em panela com óleo mostrou-se com as menores perdas entre todas as variedades e análises realizadas. Fato que pode ser explicado pela adição de óleo de soja para a expansão dos grãos e assim agregação de compostos antioxidantes dos carotenoides presentes no óleo.

3.1.1. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELO MÉTODO DPPH

Os resultados para o a capacidade antioxidante pelo método DPPH estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Potencial antioxidante pelo método DPPH (mM TE g^{-1}) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7)

Processamento	Variedade (cor do pericarpo)			
	Amarela	Branca	Preta	Vermelha
P1	107,06 ± 1,80 a A	104,71 ± 0,62 ab A	102,82 ± 0,27 b A	107,12 ± 1,91 a A
P2	29,97 ± 0,05 c C	31,04 ± 0,65 b C	31,32 ± 0,12 b C	33,10 ± 0,07 a B
P3	33,34 ± 0,20 a B	32,97 ± 0,24 a B	30,41 ± 0,14 b D	33,38 ± 0,18 a B
P4	33,33 ± 0,15 a B	31,76 ± 1,22 a BC	32,25 ± 0,08 a B	33,20 ± 0,10 a B
P5	33,20 ± 0,27 a B	32,85 ± 0,03 ab B	32,43 ± 0,20 b B	33,16 ± 0,09 a B
P6	33,38 ± 0,11 a B	32,90 ± 0,07 bc B	32,43 ± 0,18 c B	33,21 ± 0,29 ab B
P7	33,25 ± 0,13 a B	32,91 ± 0,16 b B	32,21 ± 0,08 c B	33,18 ± 0,09 ab B

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre processamentos.

Fonte: Autoria própria (2023)

Para o método de radical livre DPPH nota-se que as variedades amarela, branca e vermelha não possuem diferença significativa ($p<0,05$) quando *in natura*, correspondendo aos maiores níveis de potencial antioxidante por este método, com 107,06; 104,71 e 107,12 mM TE g^{-1}, respectivamente. Além disso, as variedades branca e preta se apresentam semelhantes, com a preta fornecendo o menor potencial por este método de 102,82 mM TE g^{-1} (Tabela 1).

Após serem expandidas pelos diferentes processamentos é percebida a perda da atividade antioxidante, em todos os métodos, com uma diminuição entre 68,80 a 72,00%, elucidada pela sensibilidade dos compostos a temperaturas elevadas (Oliveira, 2014). Porém, o processo que mais degradou os compostos, foi a *airfryer* e o método que obteve menor degradação foi a panela com óleo.

Em relação as variedades, os processos de expansão se mostraram muito semelhantes na quantidade de perda de compostos. De acordo com os resultados, as variedades amarela e branca possuem um potencial antioxidante igual para os processamentos P3, P4, P5, P6 e P7. A pipoca com pericarpo vermelho foi a que sofreu menos impactos com a mudança de processamento, com os processamentos não apresentando diferenças significativas de atividade antioxidante.

A variedade preta foi a que apresentou maiores diferenças entre processamentos, com P3, micro-ondas com recipiente de vidro, resultando no menor teor antioxidante encontrado. Isso se explica pela forma de atuação do micro-ondas. Nesse equipamento, a radiação é absorvida pela matéria de maneiras diferentes dependendo do comprimento de onda e

do estado da matéria, no caso, sólido e líquido, ocasionando em perdas (Sganzerla; Lopes, 2019).

Pelo método DPPH os processos P4, P5, P6 e P7 se mostraram semelhantes nas variedades, não possuindo diferenças estatísticas em relação ao teor de compostos antioxidantes.

Pela análise de dados dos processamentos e variedades observou-se que a análise do potencial antioxidante pelo método DPPH se mostrou muito semelhante entre si, com pouca variação. Além disso, a expansão por *airfryer* se mostrou com os menores valores encontrados, resultado das maiores perdas entre as variedades, 69,54 - 72,00%, o que pode ser consequência do maior tempo de exposição ao calor (15 minutos), entre todas as formas de expansão analisadas.

3.1.2. MÉTODO FRAP

No método de redução do ferro as variedades mostraram-se com potencial antioxidante muito diferentes, conforme pode-se observar na tabela 2.

Tabela 2 - Potencial antioxidante pelo método FRAP (mM Fe^{2+} g^{-1}) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7)

Processamento	Variedade (cor do pericarpo)			
	Amarela	Branca	Preta	Vermelha
P1	39,80 ± 0,45 d A	48,56 ± 0,18 c A	86,24 ± 0,10 a A	61,40 ± 1,98 b A
P2	11,70 ± 0,37 c E	21,62 ± 0,55 a F	16,16 ± 0,18 bc C	18,80 ± 3,54 ab BC
P3	19,58 ± 0,36 b CD	23,96 ± 0,21 a CD	20,54 ± 0,37 b B	17,42 ± 0,54 c C
P4	25,82 ± 0,10 a B	22,34 ± 0,27 b EF	20,42 ± 0,63 c B	22,52 ± 0,52 b B
P5	20,18 ± 0,63 b C	25,88 ± 0,36 a B	19,64 ± 0,45 b B	17,18 ± 0,10 c C
P6	18,74 ± 0,55 b CD	22,94 ± 0,21 a DE	13,70 ± 0,45 d D	17,66 ± 0,21 c C
P7	18,68 ± 0,90 b D	24,26 ± 0,82 a C	10,64 ± 0,10 c E	10,88 ± 0,37 c D

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre processamentos.

Fonte: Autoria própria (2023).

A variedade de milho pipoca com pericarpo preto apresentou o maior potencial antioxidante por esse método, com 86,24 mM Fe^{2+} g^{-1}. Porém, também foi a variedade com a maior degradação após ser expandida, com uma diminuição de 76,18 a 87,66% entre as variedades, onde a pipoqueira elétrica resultou na maior diminuição e o micro-ondas com recipiente de vidro, micro-ondas com pacote de papel e micro-ondas pipoqueira de silicone resultaram, com médias estatisticamente iguais, na menor perda. A grande diminuição do potencial antioxidante para essa variedade pode ser explicada pela presença de antocianinas, pigmentos hidrossolúveis e sensíveis ao calor, responsáveis por grande parte da coloração azul, roxa, vermelha e laranja de muitas frutas, flores e folhas (Figueiredo; Carvalho, 2015).

A variedade branca foi a que obteve a menor redução do potencial antioxidante, com 48,56 mM Fe^{2+} g^{-1} *in natura* e degradação entre 46,70 e 55,48%, no micro-ondas com pacote de papel e *airfryer*, respectivamente.

O menor potencial antioxidante pelo método FRAP foi observado na variedade amarela, com 39,80 mM Fe^{2+} g^{-1} *in natura* e degradação entre 35,12 e 70,60%, no micro-ondas pipoqueira de silicone e *airfryer*, respectivamente.

A pipoca com pericarpo vermelho apresentou resultados divergentes das demais, com os maiores valores, nos grãos expandidos na *airfryer* (18,80 mM Fe^{2+} g^{-1}) e micro-ondas pipoqueira de silicone (22,52 mM Fe^{2+} g^{-1}), iguais estatisticamente. O menor valor encontrado foi na pipoqueira elétrica, com 10,88 mM Fe^{2+} g^{-1}.

Ao analisar os resultados pelo método FRAP, observa-se que o processamento do milho de pipoca utilizando a pipoqueira de silicone em micro-ondas resultou nas menores perdas de antioxidantes para maioria das variedades. Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que o processo de cozimento em micro-ondas pode não proporcionar uma distribuição homogênea de calor, levando a diferentes temperaturas entre os grãos da mesma amostra. Essa variabilidade de temperatura pode ter influenciado na menor degradação dos antioxidantes, uma vez que alguns grãos possivelmente não atingiram a temperatura necessária para a perda significativa desses compostos.

3.1.3. MÉTODO ABTS

Na tabela 3, estão detalhadas as capacidades antioxidantes pelo método ABTS para cada variedade de milho pipoca, nos diferentes processamentos.

Tabela 3 - Potencial antioxidante pelo método ABTS (mM TE g^{-1}) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7)

Processamento	Variedade (cor do pericarpo)			
	Amarela	**Branca**	**Preta**	**Vermelha**
P1	14,50 ± 0,34 ab A	10,60 ± 0,60 c A	15,21 ± 0,11 a A	13,75 ± 0,23 b A
P2	7,45 ± 0,23 a C	6,40 ± 0,13 a B	4,37 ± 0,47 c E	6,02 ± 0,72 b CD
P3	9,47 ± 0,23 a B	1,15 ± 0,39 d E	5,20 ± 0,23 b D	4,00 ± 0,34 c E
P4	4,07 ± 0,01 c E	3,25 ± 0,65 c D	13,52 ± 0,23 a B	5,87 ± 0,00 b CDE
P5	6,40 ± 0,57 b D	5,52 ± 0,11 c BC	12,74 ± 0,11 a C	5,20 ± 0,23 c DE
P6	4,75 ± 0,23 c E	4,97 ± 0,23 c C	5,72 ± 0,13 b D	8,87 ± 0,13 a B
P7	6,85 ± 0,26 a CD	1,90 ± 0,57 b E	3,62 ± 0,39 b E	7,75 ± 1,63 a BC

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre processamentos.

Fonte: Autoria própria (2023)

Pelo método ABTS as variedades amarela e preta são estatisticamente iguais, e tem os maiores valores de potencial antioxidante com 14,50 e 15,21 mM TE g^{-1}, respectivamente. A pipoca com pericarpo branco foi a com menor potencial antioxidante, com 10,60 mM TE g^{-1} e a vermelha apresentou valor intermediário de 13,75 mM TE g^{-1}.

Após serem processadas todas as variedades diminuíram seu potencial antioxidante por esse método, devido a perda de compostos.

Entre as variedades, a amarela, obteve uma diminuição de 34,69 - 71,93% da capacidade antioxidante entre os processamentos, com o P3, micro-ondas com recipiente de vidro, possuindo o maior valor pós processamento e P4, micro-ondas pipoqueira de silicone, e P6, panela com óleo, com médias estatisticamente iguais, o menor valor encontrado.

Para a variedade branca, a perda ficou entre 39,62 - 89,15%, respectivamente *airfryer* e micro-ondas com recipiente de vidro, resultando na variedade com maior degradação pelo método ABTS.

Na variedade preta a diminuição foi de 11,11 - 76,20%, onde o método de expansão utilizando micro-ondas com pipoqueira de silicone resultou na menor atividade antioxidante e os métodos *airfryer* e pipoqueira elétrica, estatisticamente iguais, a maior atividade antioxidante.

Por fim, a variedade vermelha houve uma diminuição da atividade antioxidante de 35,49-70,91%, sendo os processamentos P3, P4 e P5 os que mais ocasionaram a diminuição do potencial antioxidante, e os métodos P6 e P7, os menos afetaram.

Após o processamento, as variedades amarela e vermelha mostraram os maiores teores de antioxidantes pelo método ABTS, o que pode ser atribuído à presença de carotenoides. Os carotenoides são um grupo de pigmentos naturais que incluem cerca de 700 compostos, apresentando uma ampla variedade de cores, como amarelo, laranja e vermelho (Mesquita *et al*., 2017). Esses pigmentos contribuem para o potencial antioxidante dessas variedades de milho de pipoca, resultando em valores mais elevados quando comparados a outras variedades processadas.

Em relação aos processos de expansão, não foi identificado um método que se destacasse como o mais degradante, uma vez que todos os métodos resultaram em diminuição do teor de antioxidantes, porém de maneiras distintas para cada variedade de pipoca.

3.1.4. COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS (CFT)

A estimativa do teor de compostos fenólicos totais presentes nas quatro variedades de milho pipoca, processadas nos diferentes equipamentos encontra-se na tabela 4.

Tabela 4 – Estimativa do teor de Compostos fenólicos totais (CFT em mg EAG g^{-1}) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7)

Processamento	Variedade (cor do pericarpo)			
	Amarela	Branca	Preta	Vermelha
P1	5,56 ± 0,08 b A	4,17 ± 0,40 c A	6,68 ± 0,47 a A	5,10 ± 0,17 b A
P2	0,62 ± 0,01 b E	2,37 ± 0,36 a B	2,46 ± 0,04 a C	2,30 ± 0,17 a C
P3	2,25 ± 0,32 a D	2,30 ± 0,52 a B	2,31 ± 0,20 a C	2,43 ± 0,03 a C
P4	2,43 ± 0,29 a CD	2,30 ± 0,10 a B	2,50 ± 0,04 a BC	2,69 ± 0,40 a BC
P5	3,22 ± 0,56 a BC	2,83 ± 0,11 a B	2,42 ± 0,02 a C	3,03 ± 0,62 a BC
P6	3,34 ± 0,18 a B	2,54 ± 0,01 b B	3,05 ± 0,14 a B	3,31 ± 0,22 a B
P7	2,29 ± 0,36 a D	2,36 ± 0,18 a B	2,26 ± 0,13 a C	2,45 ± 0,03 a C

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre processamentos.

Fonte: Autoria própria (2023).

Ao avaliar o milho pipoca *in natura*, o maior teor de compostos fenólicos totais foi encontrado no milho pipoca com pericarpo preto, com 6,68 mg EAG g^{-1}, seguida das variedades vermelha e amarela, com valores estatisticamente iguais, com 5,10 e 5,56 mg EAG g^{-1}, respectivamente, e pôr fim, a variedade branca com 4,17 mg EAG g^{-1}.

Após serem processadas nos diferentes equipamentos, todas as variedades diminuíram o teor de compostos fenólicos totais. Isso indica que os processos de cocção podem reduzir o potencial antioxidante do milho de pipoca, provavelmente devido à degradação térmica de compostos antioxidantes como carotenoides, tocoferóis e fenólicos (Dewanto *et al*. 2002).

Analisando os resultados é possível perceber que os teores de compostos fenólicos totais, nos diferentes equipamentos são estatisticamente iguais para as variedades analisadas, com exceção da variedade amarela no método de expansão por *airfryer*, que apresentou o menor valor de 0,62 mg EAG g^{-1}, e da variedade branca expandida na panela com óleo, com 2,54 mg EAG g^{-1}.

De acordo com os resultados, a variedade com a menor diminuição de compostos fenólicos foi a variedade branca, com diminuição entre 32,13 - 44,84% e a variedade com maior diminuição foi a variedade preta, entre 54,66 - 66,17%.

Em relação as formas de processamento, na variedade branca não houve diferença significativa entre processos, em que todos os métodos aplicados houve uma diminuição dos compostos fenólicos totais. Para a variedade preta apenas o método P6, panela com óleo, apresentou uma maior redução.

Para a variedade amarela, os processamentos P5 (micro-ondas com pacote de papel) e P6 (panela com óleo) resultaram nos maiores teores de compostos fenólicos totais, com 3,22 mg EAG g^{-1} e 3,34 mg EAG g^{-1}, respectivamente. Esses dois processamentos provocaram as menores reduções em CFT para essa variedade. Em contrapartida, o processamento P2 (*airfryer*) resultou no menor teor (0,62 mg EAG g^{-1}) e provocou a maior redução.

A variedade vermelha foi a menos afetada pelos processamentos, mantendo teores relativamente altos de compostos fenólicos totais na maioria deles. Os maiores valores encontrados foram em P4, P5 e P6, todos estatisticamente com a mesma quantidade de compostos.

De modo geral, os grãos expandidos em P6, panela com óleo, mostraram-se com as menores perdas de compostos fenólicos nas diferentes variedades, com perdas de 30,09 a 54,34%. Esse fato pode ser explicado pela presença de compostos antioxidantes no óleo (SLAVIN et al. 2009) e pela liberação de compostos fenólicos para a pipoca expandida pela ação do calor, conforme descrito por Acosta-Estrada et al. (2014).

3.1.5. FLAVONOIDES TOTAIS (FT)

O teor de flavonoides encontrado nas variedades de milho pipoca analisadas foi muito variável, e em algumas formas de processamento não foram detectadas (Tabela 5).

Tabela 5 – Estimativa do teor de flavonoides totais (FT em µg quercetina g^{-1}) de quatro variedades de milho de pipoca *in natura* (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - *in natura* (P1), *airfryer* (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7)

Processamento	Variedade (cor do pericarpo)			
	Amarela	**Branca**	**Preta**	**Vermelha**
P1	145,45 ± 0,00 c A	54,55 ± 0,00 d A	221,21 ± 26,24 b A	327,51 ± 0,42 a A
P2	ND	26,67 ± 5,25 b B	5,45 ± 0,00 c E	175,80 ± 5,25 a D
P3	14,55 ± 0,00 b C	ND	108,48 ± 13,89 a CD	117,58 ± 13,89 a D
P4	ND	14,62 ± 0,08 b C	ND	32,73 ± 0,00 a E
P5	35,76 ± 5,25 b B	ND	141,82 ± 9,09 a BC	156,97 ± 13,89 a C
P6	29,70 ± 5,25 c B	14,55 ± 0,00 c C	184,24 ± 29,22 b AB	226,67 ± 5,25 a B
P7	ND	ND	87,27 ± 9,09 b D	123,64 ± 9,09 a D

Médias ± desvio padrão seguido por letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre variedades; letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste tukey (p≤0.05) entre processamento.

Fonte: Autoria própria (2023).

Nos grãos *in natura*, o milho pipoca que possui o maior teor de flavonoides é a vermelha, com 327,51 µg g^{-1}, seguida da variedade preta com 221,21 µg g^{-1}, possivelmente pela presença de antocianinas responsáveis por grande parte das colorações vermelha, roxa e azul presentes em frutas, vegetais e grãos (Lee *et al*. 2005). Em seguida, está a variedade amarela com 145,45 µg g^{-1} e pôr fim a branca com 54,55 µg g^{-1}, o menor teor encontrado.

Após os processamentos, não foram detectados flavonoides em algumas variedades expandidas por determinados equipamentos. Na variedade amarela expandida por *airfryer*, micro-ondas com pipoqueira de silicone e pipoqueira elétrica, não foram encontrados flavonoides. Na variedade branca expandida por micro-ondas bacia de vidro, micro-ondas com pacote de papel e pipoqueira elétrica também não foram detectados flavonoides. E na variedade preta expandida por micro-ondas bacia de vidro, não foram encontrados flavonoides.

A ausência de flavonoides após os grãos serem submetidos aos diferentes processamentos pode ser decorrente das alterações térmicas a que estes foram expostos, pois o calor excessivo degrada os pigmentos dos alimentos (Santos *et al.* 2019).

O processamento em panela com óleo foi o único método em que os flavonoides foram detectados em todas as variedades de pipoca, embora tenha havido uma redução significativa em seus teores, variando de 16,82% a 79,58%, em comparação com a forma *in natura*. Além disso, esse método de processamento apresentou os maiores teores de flavonoides entre todos os processamentos realizados.

Para variedade amarela a expansão em micro-ondas com pacote de papel e panela com óleo obtiveram os maiores valores, com 35,76 e 29,70 μg g^{-1}, respectivamente, sendo estatisticamente iguais.

A variedade branca *in natura* (P1) apresentou o menor teor de flavonoides totais entre as variedades analisadas, com 54,55 μg g^{-1}. Isso indica que essa variedade possui naturalmente menor concentração de flavonoides em comparação às demais. Após os processamentos, os teores de FT na variedade branca foram drasticamente reduzidos ou não detectados na maioria das condições. Onde a *airfryer* resultou no maior teor identificado, com 26,67 μg g^{-1}.

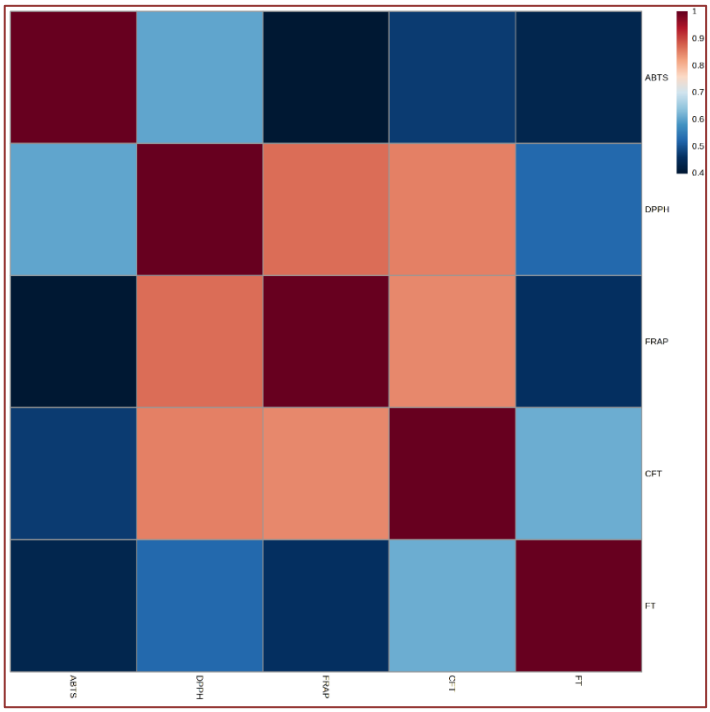
Para a variedade de pipoca com pericarpo preto, observou-se uma variação significativa nos resultados entre os diferentes processamentos. O menor valor de flavonoides foi encontrado ao utilizar a *airfryer*, com um teor de 5,45 μg g^{-1}, representando uma diminuição de 97,54% em relação ao valor inicial. Essa redução pode ser atribuída à baixa estabilidade das antocianinas durante o aquecimento, conforme mencionado por Nayak *et al*. (2011). Além disso, para essa variedade, o grão expandido em panela com óleo apresentou um teor de flavonoides estatisticamente igual ao grão *in natura*.

Na variedade vermelha o maior valor foi encontrado no processamento em panela com óleo, com 226,67 μg g^{-1}, possivelmente em virtude da presença de carotenoides no óleo e também no grão, e o menor teor de flavonoides foi encontrada na expansão em micro-ondas bacia de vidro, com 32,73 μg g^{-1}.

3.2. CORRELAÇÃO DE PEARSON

Através do coeficiente de correlação de Pearson, é possível avaliar a relação entre as análises e estimar o grau de correlação entre elas, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Correlação de Pearson por HeatMap de quatro variedades de milho de pipoca in natura (amarela, branca, vermelha e preta) e seis tipos de processamento (P1 ao P7 - in natura (P1), Air Fryer (P2), micro-ondas (vidro) (P3), micro-ondas (silicone) (P4), micro-ondas (papel) (P5), panela (P6), pipoqueira elétrica (P7) das variáveis de atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP e compostos fenólicos totais (CFT) e flavonoides totais (FT)



Fonte: Autoria própria (2023).

Pela correlação de Pearson os métodos DPPH/FRAP, FRAP/CFT e DPPH/CFT apresentam uma boa correlação, acima de 0,8, indicando que a atividade antioxidante presente na pipoca está atrelada ao seu conteúdo de compostos fenólicos totais, como já era esperado.

Através dessa correlação podemos observar que tanto o método FRAP quanto o método DPPH são bons métodos para determinar a capacidade antioxidante do milho pipoca pré e pós processamento.

4. CONCLUSÕES

A análise revelou que o milho pipoca *in natura* possui compostos antioxidantes, como compostos fenólicos e flavonoides, com a variedade preta apresentando os maiores teores e a branca os menores.

Após o processamento em diferentes equipamentos, todas as variedades sofreram perda da atividade antioxidante devido à alta temperatura. A *airfryer* foi a forma de expansão que mais degradou os compostos bioativos, enquanto a panela com óleo preservou melhor os compostos.

Com base nos dados obtidos pode-se concluir que o consumo de pipoca pode ser um aliado na promoção da saúde, sendo fonte de compostos benéficos, mesmo após o processamento.

REFERÊNCIAS

[1] Acosta-Estrada, B. A., Gutierrez-Uribe, J. A., Serna-Saldívar, S. O. (2014). Fenólicos ligados em alimentos, uma revisão. Food Chemistry, v. 152, p. 46 – 55.

[2] Barbosa, N. A.; Lopes, R. C. O.; Paes, M. C. D. (2016). Compostos bioativos nos grãos de milho pipoca antes e após o processamento. XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo, p. 1845-1848.

[3] Beserra, J. B.; Soares, N. I. S.; Marreiros, C. S.; Carvalho, C. M. R. G.; Martins, M. C. C.; Freitas, B. J. S. A.; Santos, M. M.; Frota, K. M. G. (2020). Crianças e adolescentes que consomem alimentos ultraprocessados possuem pior perfil lipídico? Uma revisão sistemática. Ciência & Saúde Coletiva, v. 25, n.12, p.4979-4989.

[4] Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature, v. 181, p. 1199-1200.

[5] BRASIL. Agência Nacional De Vigilância Sanitária – Anvisa. (2018). Resolução nº 243. Diário Oficial da União: Poder Executivo.

[6] Caivano, S.; Lopes, R. F.; Sawaya, A. L.; Domene, S. M. A.; Martins, P. A. (2017). Conflitos de interesses nas estratégias da indústria alimentícia para aumento do consumo de alimentos ultraprocessados e os efeitos sobre a saúde da população brasileira. Demetra: alimentação, nutrição & saúde, v. 12, n. 2, p. 349-360.

[7] Callegaro, M. G. K.; Dutra, C. B.; Huber, L. S.; Becker, L. V.; Rosa, C. S.; Kubota, E. H.; Hecktheur, L. H. (2005). Determinação da fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, v. 25, p. 271-274.

[8] Chaves, D. F. S. (2015). Compostos bioativos dos alimentos. São Paulo. Valéria Paschoal Editora Ltda., p. 340.

[9] Coco JR., M. G., & VINSON, J. A. (2019). Analysis of Popcorn (Zea mays L. var. everta) for Antioxidant Capacity and Total Phenolic Content. Antioxidants. Publisher of Open Access Journals, 8(1), 22.

[10] Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. Journal of agricultural and food chemistry, v. 50, n. 10, p. 3010-3014.

[11] Figueiredo, H. R.; Carvalho, V. R. (2015). Alimentos funcionais: compostos bioativos e seus benefícios à saúde. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 9º Congresso Pós-Graduação UNIS.

[12] Hidalgo, M.; Moreno, C. S.; Teresa, S. P. (2010). Flavonoid–flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. Food Chemistry, n. 121, p. 691–69.

[13] Horvat D, Šimić G, Drezner G, Lalić A, Ledenčan T, Tucak M, Plavšić H, Andrić L, Zdunić Z. (2020). Phenolic Acid Profiles and Antioxidant Activity of Major Cereal Crops. Antioxidants, p. 527.

[14] Lee, J. et al. (2005) Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. Journal of AOAC international, v. 88, n. 5.

[15] Louzada, M. L. C.; Martins, A. P. B.; Canela, D. S.; Baraldi, L. G.; Levy, R. B.; Claro, R. M.; Moubarac, J. C.; Cannon, G.; Monteiro, C. A. (2015). Alimentos ultraprocessados e perfil nutricional da dieta no Brasil. Revista Saúde Pública, v. 59, p. 11.

[16] Mesquita, S. S.; Teixeira, C. M. L. L.; Servulo, E. F. C. (2017). Carotenoides: Propriedades, Aplicações e Mercado. Revista Virtual de Química, v. 9, N. 2, p. 672-688.

[17] Nayak, B., Berrios, Jdj, Powers, Jr, Tang, J. (2011). Efeito da extrusão na capacidade antioxidante e atributos de cor de extrudados expandidos preparados a partir de misturas de farinha de batata roxa e ervilha amarela. Journal of Food Science, v. 76, n. 06.

[18] Oliveira, D. S. (2014). Nova metodologia para extração de compostos fenólicos de vinho tinto e avaliação da estabilidade dos extratos obtidos. 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, p. 150.

[19] Paraginski, R. T. (2014). Efeitos da secagem e da incidência de defeitos na qualidade de grãos de

milho, e do processamento na qualidade de grãos de milho pipoca. 2014. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas, p. 161, 2014.

[20] Paraginski, R. T.; Souza, N. L.; Alves, G. H.; Ziegler, V.; Oliveira, M.; Elias, M. C. (2016). Sensory and nutritional evaluation of popcorn kernels with yellow, white and red pericarps expanded in different ways. Journal of Cereal Science, p. 383- 391.

[21] Park, Y. K.; Ikegaki, M.; Abreu, J. A. S.; Alcici, N. M. F. (1998). Estudo da preparação dos extratos de própolis e suas aplicações. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 18, n.3.

[22] Prado, A. (2009). Composição fenólica e atividade antioxidante de frutas tropicais. Dissertação [Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos] - Universidade de São Paulo, p. 107.

[23] Pulido, R.; Bravo, L.; Saura-Calixto, F. S. (2000). Antioxidant Activity of Dietary Polyphenols As Determined by a Modified Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 48, n. 8, p. 3396-3402.

[24] Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. Free Radical Biology & Medicine, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237.

[25] Santos, N. C.; Barros, S. L.; Almeida, R. L. J. Monteiro, S. S.; Silva, V. M. A.; Gomes, J. P.; Luiz, M. R.; Vieira, D. M. (2019). Avaliação da Degradação dos Compostos Bioativos do Fruto Physalis (P. peruviana) Durante o Processo de Secagem. Research, Society and Development, v. 9, n.1, p. 21.

[26] Sganzerla, C.; Lopes, L. F. (2019). Forno microondas com potência controlável. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, TCC (Graduação) Curso de Engenharia Eletrônica, Curitiba, p. 64.

[27] Singh, R., & Rathore, D. (2018). Oxidative stress defence responses of wheat (Triticum aestivum L.) and chilli (Capsicum annum L.) cultivars grown under textile effluent fertilization. Plant Physiology and Biochemistry, v. 123, p. 342-358.

[28] Singleton, V. L.; Orthofer, R.; Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. Methods in Enzymology, v. 299, p. 152-178.

[29] Slavin, M., Cheng, Z., Luther, M., Kenworthy, W., YU, L. (2009). Antioxidant properties and phenolic, isoflavone, tocopherol and carotenoid composition of Maryland-grown soybean lines with altered fatty acid profiles. Food Chemistry, v. 114, p. 20 - 27.

[30] Soares, S. E. (2002). Ácidos fenólicos como antioxidantes. Revista de nutrição, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71- 81, jan./mar.

[31] Sucupira, N. R.; Silva, A. B.; Pereira, G.; Costa, J. N. (2012). Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. Unopar Científica Ciências Biológicas e da Saúde, v. 14, n. 4, p. 263-269.

[32] Van Hung, P. (2016). Phenolic Compounds of Cereals and Their Antioxidant Capacity. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 56, p. 25-35.

Autores

AUTORES

ALESSANDRA ALMEIDA CASTRO PAGANI

Atualmente é Professora TITULAR do Curso de Graduação em Engenharias de Alimentos, é Membro permanente do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos-PROCTA/UFS, e membro permanente do Programa de Pós-graduação de Ciência da Nutrição/UFS, orienta alunos de Iniciação Cientifica, Iniciação Tecnológica, TCCs, Estágios, Mestrado e Doutorado. Foi Coordenadora Adjunto do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos-PROCTA/UFS (2018-2020), Vice Coordenadora do Departamento de Tecnologia de Alimentos-DTA (2008-2010 e 2015-2017), Membro do COMPIBIC (2010-2012), Líder do Grupo de pesquisa: PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS E PRODUTOS NATURAIS, possui graduação em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (1996), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba (1999) e doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (2004).

ALINNE ARAUJO DE SOUSA

Graduanda em Biomedicina, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

ANDRIELI ZANON RONSONI

Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Francisco Beltrão. Atua como assistente de planejamento de produção na Kellanova.

ANNUSKA VIEIRA CABRAL

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Sergipe (2019). Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pela Universidade Federal de Sergipe (2023).Doutorado em andamento em Biotecnologia (2024). Tem experiência na área de Engenharia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Análises físicas, químicas, microbiológicas e sensoriais, Secagem de Alimentos, Processamento de Produtos de Origem Animal e Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: compostos bioativos e alimentos funcionais.

ANTÔNIO QUARESMA DA SILVA JÚNIOR

Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia (Bionorte – UFOPA), Docente do Centro Universitário da Amazônia – UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

BIAANI BEEU MARTÍNEZ VALENCIA

Engenheira Química com mestrado em Engenharia Bioquímica pelo Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Paraná. Possui 17 anos de experiência em pesquisa, com mais de 50 publicações e coautoria de três capítulos de livro. Desde 2008, é Pesquisadora Titular C e responsável pelo Laboratório de Bioenergia do INIFAP, atuando em biocombustíveis, valorização de resíduos agrícolas e desenvolvimento de bioprodutos e bioinsumos. Nos últimos anos, tem se dedicado à otimização de bioprocessos para a fermentação de cacau. Integra o Conselho Consultivo, Científico e Tecnológico da Agência Digital Tecnológica de Chiapas e representa o México na Rede Mesoamericana de Pesquisa e Desenvolvimento de Biocombustíveis.

BRUNA EDUARDA DE OLIVEIRA ANDRADE

Graduanda em Biomedicina, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

ELLEN CRISTINA PERIN

Possui graduação em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, foi bolsista de Iniciação Científica e voluntária do Programa de Educação Tutorial - PET alimentos, pela

AUTORES

mesma universidade (2012). Possui mestrado (2014) e doutorado (2017) em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas, na linha de pesquisa de frutas e hortaliças, com enfoque na qualidade e biofortificação de alimentos, no estudo de efeitos de estresses abióticos moderados e uso de adubação alternativa em diferentes culturas agrícolas. Realizou pós-doutorado na Universidade Federal de Pelotas (2017), seguindo na linha de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Atuou na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão, como Professora Substituta (2017-2019). De 2019 a 2022 realizou um segundo pós-doutoramento no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Foi franqueada da empresa Qualisan, atuando como consultora sanitária em serviços de alimentação (2022-2023). Especialista em Ciência de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas (2023). Atuou de forma ativa como Divulgadora Científica, Criadora de Conteúdos e Mentora Acadêmica através do Instagram @ensinocomciencia. Atualmente Professora efetiva na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) lotada no Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos (DTCA).

ELLEN PORTO PINTO

Possui graduação em Química de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas (2001), mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial pela Universidade Federal de Pelotas (2005) e doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas (2013). Atualmente é professor Titular do Ensino Básico Técnico e Tecnológico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de produtos de origem vegetal, com ênfase em bebidas e produtos panificáveis. Desenvolvimento de produtos a partir de resíduos industriais. Compostos bioativos. Higiene Industrial.

ERIKA DE CASTRO VASQUES

Professora da Universidade Federal do Paraná - Campus Avançado de Jandaia do Sul. Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá, especialização em Análise de Processos na Indústria de Alimentos (UEM), especialização em Pesquisa e Desenvolvimento de Novos Produtos Alimentícios (PUC-PR), Mestrado em Tecnologia de Alimentos (UFPR) e Doutorado em Engenharia de Alimentos (UFPR). Tem experiência em Engenharia de Alimentos, na área de Processos de Separação, com ênfase em processos de adsorção.

FREDY SANGEADO GORDILLO

É engenheiro químico, recém-egresso do Tecnológico Nacional Campus Tapachula, e possui experiência em fermentações de alimentos, como o cacau. Atualmente, trabalha em uma indústria de alimentos funcionais no México.

GABRIEL FRANCISCO DA SILVA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba (1988), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba - Campus II - Campina Grande (1991) atual UFCG e doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas - FEA (1999). Atualmente é professor titular do Departamento de Engenharia de Petróleo - DEPET da Universidade Federal de Sergipe. Participa dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Química - PEQ, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Propriedade Intelectual - PPGPIve Pós-Graduação de Rede Nordeste em Biotecnologia - RENORBIO. Atua nas áreas de Operações de Separação e Mistura, Tecnologia Química e Energias Renováveis, especificamente em desenvolvimento de tecnologia em petróleo, gás, biocombustível, energias renováveis, tratamento de água e efluentes, secagem, extração com fluido supercrítico, escoamento, propriedades termofísicas, processamento de produtos agroindustriais, modelagem termodinâmica e fluidodinâmica computacional. Atualmente é bolsista Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora DT-2 - 2024-2027.

GEOVANNA CAMPOS SILVA

Graduanda em Biomedicina, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

AUTORES

GLEISSON WILLEN CERDEIRA LEMOS

Biotecnologista, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

ISABELLE MARTINS BEZERRA

Graduanda em Biomedicina, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

JEAN LUCAS RIBEIRO DE FARIAS

Possui Técnico em Alimentos pelo Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego ofertado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Toledo (2015), Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná de Francisco Beltrão (2023). Possui experiência relativa na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em produtos de origem vegetal com foco em compostos bioativos. Esteve inserido em projetos de iniciação científica e projetos de extensão, tanto como voluntário, quanto como bolsista da Fundação Araucária e CNPq. Atualmente cursa o Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos no Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos - PPGTAL - FB/LD da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com linha de pesquisa em produtos de origem vegetal.

JOSÉ LUIS SOLIS BONILLA

Trabalha principalmente nas áreas de genética quantitativa e melhoramento genético de espécies perenes (especialmente cultivos bioenergéticos e industriais perenes), bem como na aplicação de modelos mistos, análise espacial e marcadores moleculares no melhoramento e na resistência a doenças. Também desenvolveu tecnologia de produção, gerando componentes tecnológicos para cultivos destinados à produção de biocombustíveis (Jatropha curcas, Ricinus communis, Moringa oleifera, Crescentia alata, Crescentia cujete, Acrocomia mexicana, entre outros). Realizou missões científicas representando o México em 6 países (Brasil, Colômbia, Costa Rica, Guatemala, El Salvador e Panamá).

MARCO AURÉLIO REIS DOS SANTOS

Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica - UNESP Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (2008), mestrado em Engenharia de Produção - UNESP Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (2010) e doutorado em Engenharia de Produção - UNESP Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (2014). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Paraná. Tem experiência tanto na área de Engenharia de Produção bem como Coordenador de Curso de Engenharia de Produção da UFPR no campus de Jandaia do Sul, onde atuei de 2018 à 2020. As ênfases de linha de pesquisa são em Pesquisa Operacional e Planejamento de Experimentos, onde já atuou principalmente nos seguintes temas: Saúde Pública, BSC, DEA, AHP, Caixeiro Viajante, Sequenciamento de Operações e aplicações do Método Taguchi.

MARIA CLARA ROCHA VIANA

Graduanda em Biomedicina, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

MIRELA SOUSA DIAS

Graduanda em Biomedicina, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

PEDRO HENRIQUE CAMPOS FIGUEIRA

Graduando em Biomedicina, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

AUTORES

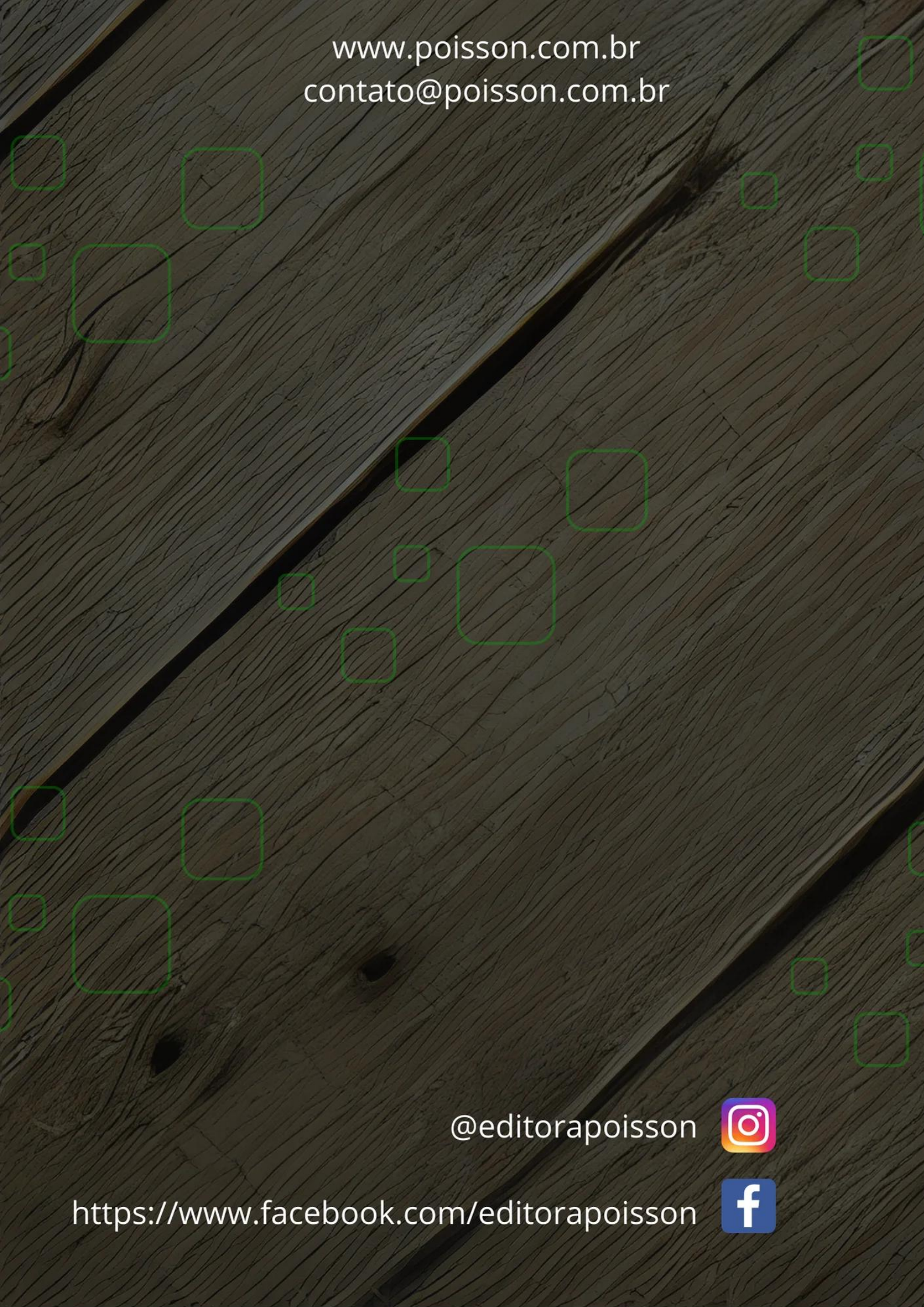
TATIANA PACHECO NUNES

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista - UNESP (1998), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade de São Paulo (2003) e doutorado em ciência dos alimentos pela Universidade de São Paulo (2008). Atualmente é professora Associada II da Universidade Federal de Sergipe. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: microbiologia de alimentos, irradiação de alimentos, aproveitamento de resíduos da agroindústria

THYNARA RIBEIRO SILVA

Graduanda em Biomedicina, centro universitário da Amazônia - UNAMA, Santarém, Pará, Brasil.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br



@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson